Ueber die

Erzeugung und physiologische Wirkung schnell und langsam verlaufender magnet-elektrischer Ströme.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

einer

hohen naturwissenschaftlichen Fakultät

der

Eberhard-Karl-Universität Tübingen

vorgelegt

von

Karl Bürker

cand. med. aus Zweibrücken.

Tübingen.

Verlag von Franz Pietzcker.

1897.

Ueber die

Erzeugung und physiologische Wirkung schnell und langsam verlaufender magnet-elektrischer Ströme.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

einer

hohen naturwissenschaftlichen Fakultät

der

Eberhard-Karl-Universität Tübingen

vorgelegt

von

Karl Bürker

cand. med. aus Zweibrücken.

ACAD. LUGD. BAT. BIBL.

Tübingen.

Verlag von Franz Pietzcker.

1897.

Von der Fakultät angenommen am 30. Juni 1897.

Druck von E. Riecker's Buchdruckerei in Tübingen.

Meinen Eltern

in Dankbarkeit gewidmet.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41552309_0097

Einführung.

Die grosse Fülle interessanter Ergebnisse, die aus den mannigfaltigsten Untersuchungen über die physiologische Wirkung schnell und langsam verlaufender elektrischer Ströme resultierte, lässt es einigermassen gewagt erscheinen, auf diesem gründlich bearbeiteten Gebiete wesentlich neue Thatsachen zu Tage zu fördern. Erwägt man aber, dass bei der Mehrzahl dieser Untersuchungen, besonders bei denen älteren Datums, in der Hauptsache das galvanische Element den Strom lieferte, sei es nun, dass dieser unmittelbar oder von ihm erzeugte Induktionsströme die Reizung besorgten, so wird man dem Wunsche, die Wirkungsweise magnet-elektrischer Ströme von verschiedenem Verlaufe näher kennen zu lernen, um so mehr geneigt sein. Was zur Realisierung dieses Wunsches auffordert ist nicht etwa allein der Umstand, dass man eine spezifisch verschiedene Wirksamkeit gegenüber dem galvanischen Strome erwarten dürfte, sondern vielmehr die Annahme, es möchten sich aus ihrer Anwendung mancherlei experimentelle Vorteile in der Versuchsanordnung und die Möglichkeit einer weitgehenden Variation der für die Reizung bedeutsamen Faktoren ergeben.

Zwar beschäftigen sich schon mehrere Arbeiten, darunter eine von v. Kries [1]), eine zweite von Grützner über die Stöhrersche Maschine [2]), eine dritte von Grützner und Schott [3]) und eine weitere von Mares [4]) mit der Frage der Wirkungs-

1) Ueber die Erregung des motorischen Nerven durch Wechselströme. Berichte über die Verhandlungen der naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg i. B. VIII, 2.

2) Pflüger's Archiv, Bd. 41, S. 256.

3) J. Schott, ein Beitrag zur elektrischen Reizung des quergestreiften Muskels von seinem Nerven aus (1891). Pflüger's Archiv Bd. 48, S. 354.

4) Dr. F. Mares: Sur les relations entre l'excitant électrique et la réaction néuro-musculaire. Prag 1893.

weise schnell und langsam verlaufender magnet-elektrischer Ströme; allein eine genauere Darstellung des Verlaufs dieser Ströme fand nur in der an zweiter und letzter Stelle genannten Arbeit eine besondere Berücksichtigung. Es genügte für die in der dritten Arbeit angeführten Versuche die Thatsache des jähen und langsamen Anstieges, die durch eine Prüfung der Ströme mittels des Telephons ihre experimentelle Bestätigung gefunden hatte.

Was aber fernerhin noch eine Wiederaufnahme der Untersuchungen über die Wirkung schnell und langsam verlaufender Ströme wünschenswert erscheinen lässt, ist der Umstand, dass den Arbeiten ähnlicher Art als Objekt der Untersuchungen im wesentlichen diente motorischer Nerv und Muskel, während sensible, sekretorische und vasomotorische Nerven nebst ihren Endapparaten keine oder doch nur geringe Berücksichtigung gefunden haben. Sagt doch schon v. Kries in seiner Abhandlung »über die Abhängigkeit der Erregungsvorgänge von dem zeitlichen Verlaufe der zur Reizung dienenden Elektrizitäts-Bewegungen«: »Von grösstem Interesse würde offenbar die Ausdehnung der Versuche auf andere Präparate als die motorischen Froschnerven sein.«

Da nun zu den Untersuchungen die schon in der Grützner-Schott'schen Arbeit gebrauchte, von Herrn Professor Grützner selbst angegebene Reizsirene Verwendung finden sollte, ferner aber die Herstellung zweier Typen von Stromverläufen, charakterisiert durch schnellen und langsamen a priori zu bestimmenden regelmässigen Anstieg und Abfall, für die Untersuchung und Vergleichung zweckdienlich erschien, so galt es an der Maschine Vorrichtungen zu treffen, die den gestellten Bedingungen innerhalb der für physiologische Zwecke gezogenen Grenzen in vollem Umfange genügen konnten.

Historische Rückblicke.

Es dürfte nicht ohne Interesse sein, bevor ich mit der Beschreibung der an der Maschine getroffenen Vorrichtungen beginne, einige historische Rückblicke zu thun; denn indem sich die später mitzuteilenden Versuche auf die Erfahrungen der Vergangenheit als einer guten Basis aufbauen, werde ich des öfteren Gelegenheit nehmen müssen, auf Arbeiten und deren Resultate zurückzukommen, die mittelst anderer, prinzipiell verschiedener Apparate erhalten worden waren.

Gestützt auf eine grosse Erfahrung im Gebiete der Elektrophysiologie konnte Du Bois-Reymond schon im Jahre 1845 sein allgemeines Gesetz der Nervenerregung durch den elektrischen Strom aussprechen, ohne aber, wie er selbst zugab, einen ganz unmittelbaren Beweis dafür beigebracht zu haben. Es gebrach ihm zu jener Zeit an einem Mittel, um eine positive oder negative Stromesschwankung von passender Grösse und nach Willkür zu beherrschender Geschwindigkeit hervorzubringen [1]).

Nach mancherlei Vorarbeiten konstruierte er dann im Jahre 1861 nach der Ueberlegung, dass durch Verlängerung oder Verkürzung einer durch einen Eisendraht repräsentierten Nebenleitung sich die Stromstärke im Nervenkreise in ausreichende und unter Umständen jenen Längenveränderungen proportionale Schwankungen versetzen lasse, sein Schwankungsrheochord. Es schien dieser Apparat einen annähernd linearen Stromanstieg zu garantieren von dem Werte *o* bis zu einer beliebig zu variirenden Höhe und von einer Steilheit, die abhängig war von dem zu erreichenden Intensitätsgrade und von der Geschwindigkeit, mit welcher sich das Quecksilberrohr auf dem eisernen Rheochorddrahte fortbewegte.

1) Du Bois-Reymond: Vom Schwankungsrheochord (1861). Gesammelte Abhandlungen Bd. 1, S. 198.

Allein die Unzuverlässigkeit des Kontaktes zwischen Eisendraht und Quecksilber und die ungleichförmige Bewegung des Quecksilberschlittens gaben Veranlassung zu mancherlei Störungen, die sich als sogenannte Erschütterungszuckungen geltend machten. Somit erfüllte, wie Du Bois-Reymond sich ausdrückte, das Schwankungsrheochord die Hoffnungen nicht, die er selbst darauf gesetzt hatte.

Er fasste die Ergebnisse seiner Untersuchungen in folgende Worte zusammen: »Sowohl bei auf- als bei absteigendem Strome erhält man Zuckung, sowohl durch positive als durch negative Schwankung bei geeigneter Stromstärke und Geschwindigkeit des Schlittens.«

Auf dem einmal angebahnten Wege fortschreitend versuchte Bernstein [1]), mit den zweifelhaften Resultaten des Schwankungsrheochordes bekannt, eine neue Konstruktion zur Erzielung eines linearen Stromanstieges [2]). Auf demselben Prinzipe fussend, durch Veränderung des Leitungswiderstandes einer Nebenschliessung die Intensität im Nervenkreise nach einem bestimmten Verhältnisse zu variieren, liess Bernstein ein kreisbogenförmiges Stück Platindraht durch die Bewegung eines Pendels so aus einer Quecksilbermasse heraustreten, dass in gleichen Zeiten gleiche Drahtlängen auftauchten. Aus der dadurch bedingten Aenderung des Widerstandes im Nebenkreise würde im Nervenkreise eine hyperbolisch gestaltete Dichtigkeitskurve resultieren, die aber des vielfach überlegenen Widerstandes in letzterem Kreise wegen als geradezu linear angesehen werden könnte. Die angekündigte später zu machende Mitteilung über die mit dem Apparate gemachten Erfahrungen blieb aus.

In der Abhandlung über das Schwankungsrheochord wies Du Bois-Reymond auch noch auf eine Anregung Rosenthals hin, gemäss des von v. Helmholtz entwickelten Gesetzes Stromschwankungen verschiedener Steilheit zu erzielen durch An- und Absteigenlassen eines galvanischen Stromes in einem Kreise, der eine Induktionsrolle enthält. Einen ähnlichen Vorschlag zur systematischen Variierung des Stromverlaufes machte Koenig [3]). Im Anschluss an das Helm-

1) Jul. Bernstein: Vorläufige Mitteilung über einen neuen elektrischen Reizapparat für Nerv und Muskel. Archiv für Anatomie und Physiologie 1862, S. 531.

2) Bei der Beschreibung des Apparates war ich im wesentlichen auf die in der v. Fleischl'schen Abhandlung »das Rheonom« enthaltenen Mitteilungen angewiesen.

3) Koenig: Wiener Sitzungsberichte, 2. Abteil. 1870, Bd. 62.

holtz'sche Gesetz wurde auch in der Folgezeit das physiologische Verhalten des Schliessungsinduktionsstromes, als Repräsentanten einer relativ langsam verlaufenden und dadurch weniger steilen Stromschwankung, und das des jäh verlaufenden Oeffnungsinduktionsstromes mannigfaltigen Prüfungen unterworfen.

Allein auch diese Anordnung lässt eine Modifikation des Stromverlaufes nur innerhalb enger Grenzen zu.

Da demnach das Prinzip der Veränderung des Widerstandes einer metallischen Nebenschliessung sich in zwei Applikationen (Schwankungsrheochord und Apparat von Bernstein) nicht besonders bewährt hatte, versuchte v. Fleischl andere Methoden zum Bau von Rheonomen heranzuziehen, das heisst von Apparaten, welche die Veränderung von Stromintensitäten nach einem bestimmten Gesetze vornehmen [1]).

Das von ihm angegebene Orthorheonom ist konstruiert nach dem Prinzipe der Wheatstone'schen Brücke.

In eine Hartgummiplatte war eine kreisförmige Rinne, die mit Zinksulfat gefüllt wurde, eingeschnitten. In dem zu den konzentrischen Kreisen gehörigen Mittelpunkte war senkrecht zur Platte ein Stab eingelassen, um den als Axe ein Doppelarm aus isolierender Substanz in der Horizontalebene drehbar war. Von den Enden dieses zweiarmigen Stabes tauchten in die Rinne Zinkdrähte, von denen aus die Ableitung in den Reizstromkreis *i. e.* die Brücke erfolgte.

Der mit Zinksulfat gefüllten Rinne wurde nun an zwei einander diametral gegenüberliegenden Punkten der Strom einiger Bunsenelemente zugeführt. Standen die Zinkdrähte in unmittelbarer Nähe dieser Zuleitungspunkte, dann gelangte nach den Gesetzen der Stromverteilung ein relativ bedeutender Anteil des Stromes in den Reizstromkreis. Wurden die dem Doppelarm aufsitzenden Zinkdrähte mit diesem um 90 Grad gedreht, dann war die Brücke stromlos; bei einer weiteren Drehung um 90 Grad erhielt sie wiederum den grösstmöglichen Anteil des Stromes nur in entgegengesetzter Richtung. v. Fleischl konnte nun experimentell nachweisen, dass bei der Rotation der Brücke im Reizstromkreise der Strom linear anstieg und abfiel. Eine ganze Umdrehung ergab zwei derartige Stromverläufe entgegengesetzter Richtung.

Dieser nur im Schema mitgeteilte, in praxi mit noch

---

1) E. Fleischl von Marxow: Das Rheonom (1877), gesammelte Abhandlungen S. 268.

mancherlei Mechanismen ausgestattete Apparat ermöglichte eine Variation der für den Stromanstieg massgebenden Faktoren in ziemlich weiten Grenzen.

Einmal liess sich die Steilheit des Stromanstieges bei gleichbleibendem Intensitätsintervall modifizieren durch Veränderung der Rotationsgeschwindigkeit. Je grösser dieselbe war, um so steiler der Anstieg. Um eine Vergrösserung des Intensitätsintervalles herbeizuführen, brauchte man nur die Anzahl der vorgespannten Elemente mittelst eines Stromwählers zu vermehren.

Es boten sich also in der leicht zu variierenden Stromintensität und Rotationsgeschwindigkeit die Mittel dar, die Steilheit des Stromanstieges den weitgehendsten Anforderungen anzupassen.

Die mit dem Rheonom angestellten Versuche ergaben mancherlei neue und deshalb interessante Resultate, vor allem wie v. Fleischl glaubte, den experimentellen Beweis des von Du Bois-Reymond aufgestellten allgemeinen Gesetzes der Nervenerregung.

Ferner zeigte sich der zeitliche Verlauf der Muskelkontraktion, die erst bei einer gewissen Steilheit des Stromanstieges erfolgte und während der ganzen Dauer der Stromesschwankung in einer einzigen Zusammenziehung bestand, abhängig von dem Grade der Steilheit. Entgegen dem von v. Helmholtz aufgestellten Gesetze der Summation der Zuckungen sprach v. Fleischl auf Grund der mit dem Rheonom erhaltenen Zuckungskurven den Satz aus: »Der zweite Reiz bringt den Muskel von dem Kontraktionszustande, in dem er ihn trifft, in denjenigen, in welchen er ihn auch gebracht hätte, wenn er ihn in erschlafftem Zustande gefunden hätte.«

Besonders bemerkenswert erscheint die aus den Versuchen resultierende Beobachtung der grössten Aehnlichkeit der durch lineare Stromschwankungen (sogenannte milde Reize) hervorgebrachten Reaktionen des Muskels mit seinen Leistungen beim natürlichen Gebrauch der Bewegungswerkzeuge, eine Abstraktion, die nach v. Fleischl wesentlich gestützt wurde durch die Unmöglichkeit, ebenso wie bei den normalen Bewegungen, sekundäre Zuckungen oder sekundären Tetanus zu erhalten.

Durch die bahnbrechenden Arbeiten von v. Fleischl war der erste Schritt in ein bisher ziemlich dunkles Gebiet gethan, und es galt im Interesse einer einheitlichen Anschauung, die gefundenen Resultate zu analysieren und mit kritischer Sonde weiterer Untersuchung zu unterwerfen.

Die Wirkung einer einmaligen linearen, sowohl positiven als negativen Stromesschwankung studierte des genaueren A. Fuhr [1]). Dem von ihm benutzten Apparate lag die Idee des Du Bois-Reymond'schen Schwankungsrheochords zu Grunde, nur trat an die Stelle des Eisendrahtes eine Flüssigkeitsrinne.

Während nun v. Fleischl in der Hauptsache die Reizwirkung abhängen liess von der Steilheit des Stromanstieges, legte Fuhr der Intensität als solcher eine grössere Bedeutung bei, stimmte aber insofern wieder den Anschauungen v. Fleischl's zu mit der Angabe, dass der schneller sich ändernde Strom schon bei etwas geringerer absoluter Intensität reizen könne als der langsam sich ändernde.

Bestätigung fand im Verlauf dieser Arbeit auch die Ansicht Hermann's, Grützner's [2]) und anderer Forscher, dass der absteigende Strom in der Nähe des Querschnittes durch den Nervenstrom günstig beeinflusst, der aufsteigende dagegen gehemmt werde.

Fuhr erhielt im negativen Ast der Stromesschwankung innerhalb ziemlich geringer Steilheiten Zuckungen, während dies v. Fleischl nicht gelungen war. Seine weiteren Beobachtungen wichen auch insofern von den v. Fleischl'schen ab, mit dessen Rheonom auch er teilweise Versuche angestellt hatte, als typische Summationen im Sinne des v. Helmholtz-schen Gesetzes und sekundärer Tetanus erhalten wurden, allerdings an dem gewöhnlichen Nerv-Muskelpräparate mit durchschnittenem Nervus ischiadicus, während v. Fleischl am unverletzten Nerven experimentiert hatte.

Welches Interesse die bisher mitgeteilten Untersuchungen zu erwecken im Stande waren, beweist die Thatsache, dass in den nun folgenden Jahren die Konstruktionen ähnlicher Apparate sich häuften.

Mancherlei Unbequemlichkeiten, die sich beim Gebrauche des Orthorheonoms geltend machten, ferner die Erwägung, dass es bei der grossen Bedeutung der Steilheit der Stromanstiege darauf ankomme, die letzteren bis zu einer bestimmten konstant zu erhaltenden Stromintensität in einer beliebig zu vergrössernden oder verkleinernden Zeit und überdies gerad-

---

1) A. Fuhr: Einmalige lineare Stromesschwankung als Nervenreiz (1884). Pflüger's Archiv Bd 34, S. 510.

2) Grützner und Moschner: Beiträge zur allgemeinen Nervenphysiologie. Pflüger's Archiv Bd. 28, S. 130.

linig zu bewirken, bestimmte v. Kries [1]) zur Konstruktion des Federrheonoms nach der Du Bois-Reymond'schen Methode der Kompensation zur Messung elektromotorischer Kräfte.

Der Apparat gestattete eine Vergleichung von Momentanreizen mit innerhalb gewisser Grenzen zu variierenden Zeitreizen in ihrer Wirkung auf Nerv und Muskel. Das Verhältnis der Intensität bei Zeitreizen zu der denselben minimalen Effekt erzeugenden Intensität bei Momentanreizen nannte v. Kries Reizungsdivisor, der also ein Maass gab für die durch zeitliche Ausdehnung der Schwankung bedingte Schwächung des Reizeffektes; denn diese Schwächung schien dogmatisch festzustehen.

v. Kries bestätigte vielfach im Gegensatze zu Fuhr die Angaben v. Fleischl's, wozu bemerkt sein mag, dass auch er am undurchschnittenen Nerven die Reizung vornahm. Nur gegen die Anschauung des letzteren Autors, nach welchem die linearen Reize durchgängig ganz andere Summationserscheinungen liefern sollten, verwahrt sich v. Kries in einer neueren Abhandlung [2]). Der Vermutung Grützner's, dass den Muskel specifisch verschieden erregbare Elemente zusammensetzen, konnte v. Kries keine experimentelle Bestätigung verleihen. Aus den beigefügten Kurven, in denen die Anstiegszeiten als Abscissen, die Reizungsdivisoren als Ordinaten aufgetragen sind, könnte aber die Vermutung abgeleitet werden, dass der dem Stück geringster Steilheit entsprechende Teil der Kurve den Moment darstellt, in welchem die auf Zeitreize relativ besser reagierenden Elemente in Aktion treten.

Bemerkenswert ist die Mitteilung, dass derselbe Nerv sich erwärmt für Oscillationen hoher Frequenz, abgekühlt für Oscillationen geringer Frequenz relativ empfindlicher erwies, während die Erwärmung des Muskels ohne wesentlichen Einfluss auf seine Reizbarkeit blieb.

Das Uebergewicht der günstigen Stromrichtung trat bei Zeitreizen noch stärker hervor als bei Momentanreizen.

Analog den v. Fleischl'schen Angaben fand v. Kries, dass durch lineare Stromschwankung von endlicher Steilheit

---

1) v. Kries: Ueber die Abhängigkeit der Erregungsvorgänge von dem zeitlichen Verlaufe der zur Reizung dienenden Elektrizitäts-Bewegungen. Archiv für Anatomie und Physiologie 1884. Physiologische Abteilung S. 337.

2) Untersuchungen zur Mechanik des quergestreiften Muskels. Archiv für Anatomie und Physiologie 1895. Physiologische Abteilung S. 150, Anm. 2.

Nerv und Muskel zwar nur in kurz dauernde Erregungszustände versetzt wurden, doch aber in erheblich längere als bei Momentanreizen.

Als aequivalentes Maass der Erregungsdauer beobachtete v. Kries die Dauer der negativen Schwankung. Er konnte konstatieren, dass letztere bei Zeitreizung durch geringere Steilheit und gestreckteren zeitlichen Verlauf charakterisiert war. In ihrer Wirkung auf das Kapillarelektrometer zeigten Zeitreize stärkere Ausschläge an, beeinflussten aber das sekundäre Präparat in geringerem Masse als die Momentanreize.

Bezüglich der physiologischen Innervation kam auch v. Kries zu dem bedeutsamen Schlusse, dass die elektrischen Zeitreize eine Vermittlung darstellen könnten zwischen momentanem und physysiologischem Reize.

In einer andern Abhandlung »über die Erregung des motorischen Nerven durch Wechselströme« [1]) machte v. Kries neben den schon erwähnten noch einige andere bemerkenswerte Mitteilungen. Darnach sollte die Anregung zur Kontraktion durch Stromoscillationen höherer Frequenz nicht allein von der Steilheit der Stromschwankungen abhängig gedacht werden, sondern wesentlich auch von dem momentanen Nervenzustande, welcher durch Richtung und Grösse der unmittelbar vorausgegangenen Stromschwankung mit bestimmt wird. Bei Stromschwankungen, welche nur einige Male in der Sekunde oder noch seltener ihre Richtung wechseln, sollte das Fundamentalgesetz der Nervenerregung seine Richtigkeit behalten.

Von Apparaten neuester Konstruktion seien noch erwähnt das von B. Danilewsky angegebene Kymorheonom [2]), die Reizsirene von Grützner und das Rheotom von F. Mares (cf. pag. 5, Anm. 4).

Da auch der erstgenannte Apparat wie mehr oder weniger alle seine Vorgänger der Aufklärung des natürlichen physiologischen Erregungsvorganges dienen sollte, diesem aber nach der Ansicht von Danilewsky die Reizwirkung durch Oscillationen des galvanischen Stromes am nächsten zu stehen schien, so wurde von diesem leitenden Gesichtspunkte aus das Kymorheonom gebaut, das den Strom in derselben Richtung durch den Nerven schicken, eine genügende Variation der Amplitude, Schwingungszahl und Stromstärke gestatten,

1) Berichte über die Verhandlungen der naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg i. B., Bd. VIII, 2.

2) B. Danilewsky: Ueber ein Kymorheonom 1887. Centralblatt für Physiologie, Bd. 1, S. 490.

ausserdem aber auch die Oscillationen rhythmisch verlaufen lassen sollte.

Das Prinzip des Apparates beruhte also auf rhythmischer Veränderung des Widerstandes in dem Haupt- oder einem Nebenstromkreise galvanischer Elemente. Diese Veränderung geschah in einem mit Zinksulfat oder Kupfersulfat und Glycerin gefüllten Rheostaten durch Annäherung und Entfernung einer beweglichen Elektrode von einer feststehenden. Die auf diese Weise erhaltene Schwankungskurve war keine ganz orthorheonomische, sondern eine mehr wellenförmige, kymorheonomische.

Um die reizende Wirkung einer einzigen positiven oder negativen Stromesschwankung zu ermitteln, konstruierte Danilewsky das Fallrheonom, welches dadurch charakterisiert war, dass ein fallendes Gewicht die bewegliche Elektrode ein einziges Mal von unten nach oben oder umgekehrt verschob.

Schaltete Danilewsky das Kymorheonom in den primären Kreis eines Induktoriums, so erhielt er kymorheonomische Induktionsströme.

Die Reizwirkungen dieser kymorheonomischen Induktionsströme [1]) am Froschnerven zeigten sich von dem jeweiligen Zustande des Tieres weit mehr abhängig als die durch gewöhnliche Induktorien mit Wagner'schem Hammer erhaltenen Stromwirkungen. Die auftretenden Zuckungen entsprachen oft nicht einer Stromesschwankung, sondern einer Gruppe derselben. Bei schwacher Stromstärke kamen namentlich während kleinerer Schwankungsamplituden Summationserscheinungen in äusserst prägnanter Weise zu Stande. Wurde die Frequenz und damit die Steilheit der Stromoscillationen ceteris paribus vermehrt, so nahm der Reizeffekt deutlich zu. Einen noch mächtigeren Einfluss auf die Grösse des Reizeffektes übte die Höhe der Oscillationsamplitude aus. Daher erwies sich eine Aenderung in der Amplitude von bedeutenderem Einflusse als eine Aenderung des Intervalles oder der Intensität. Wurde Amplitude und Stromstärke ziemlich gross genommen, so erhielt man Tetanuskurven schon nach 4—5 Oscillationen in 1 Sekunde, ja es war sogar unter günstigen Versuchsbedingungen möglich, eine Konfluenz der Muskelzuckungen schon bei 1 $^1/_2$—2 ganzen Schwingungen in 1 Sekunde hervorzubringen.

---

1) B. Danilewsky: Ueber die Reizung der Nerven mittels der kymorheonomischen Induktionsströme. 1889. Centralblatt für Physiologie, Bd. 3, S. 198.

Versuche am sensiblen Froschnerven ergaben ganz analoge Resultate.

Während nun nahezu alle vorgenannten Arbeiten das Du Bois-Reymond'sche allgemeine Gesetz der Nervenerregung in vollem Umfange bestätigen konnten, mit Ausnahme vielleicht von Fuhr, der entgegen der Annahme v. Fleischl's dem absoluten Werte der Intensität eine grössere Bedeutung für die Reizwirkung zuschrieb und v. Kries, der letztere bei Stromoscillationen hoher Frequenz auch von dem jeweiligen Zustande des Nerven abhängig machte, förderten die Untersuchungen, welche von Grützner und Schott (cf. pag. 5, Anm. 3) mit der später zu beschreibenden Reizsirene, angestellt wurden, Resultate zu Tage, die mit dem allgemeinen Gesetze in offenem Widerspruch standen. So sehr die Anwendbarkeit des Gesetzes auf die Froschnerven zugegeben wurde, so sehr musste sie speciell für die Kröte geleugnet werden. Es erwiesen sich hier Stromschwankungen von viel geringerer Steilheit absolut wirksamer als Ströme, die momentan den gleichen Intensitätshöhepunkt erreichten.

Daher dürfte dem Du Bois-Reymond'schen Gesetze nicht die früher angenommene allgemeine Bedeutung zuzuschreiben sein; denn die oben angeführten Thatsachen sprechen energisch dagegen.

Der letzte der oben angeführten Apparate, das Rheotom von F. Mares, verdient seiner exakten Reizwirkung wegen besondere Beachtung. Unter Benutzung einer Atwood'schen Fallmaschine wurden Induktionsströme in der Weise erzielt, dass ein cylindrisch gestalteter Magnet von konstanter magnetischer Kraft durch eine an der Säule des Fallapparates verschiebbare Induktionsspule hindurchfiel. Die Bewegung des Magnetes konnte durch ein Gegengewicht entsprechend reguliert werden. Die erzeugte Elektrizitätsmenge war abhängig von der Stärke des Magnetes und von der Beschaffenheit der Induktionsspule, die elektromotorische Kraft von der Schnelligkeit, mit welcher der Magnet bewegt wurde. Mares fand nun, dass die Grösse der durch Einwirkung einer ganzen elektrischen Welle auf den motorischen Nerven erzeugten Muskelzuckung abhängig war von der Schnelligkeit, mit welcher der Magnet die Spule passierte. An dem Apparat war auch eine einfache Vorrichtung angebracht, um Teile der elektrischen Welle gesondert in ihrer Wirkung beobachten zu können. Der Verlauf einer halben elektrischen Welle stellte sich nach gesonderter Bestimmung der Intensitätsphasen im balistischen

Galvanometer in der Weise dar, dass die Intensität des Stromes allmälig bis zu einem bestimmten Höhepunkte zunahm, um dann wiederum rascher abzufallen. Es zeigte sich nun, »que l'effet physiologique est indépendent de la valeur absolue de l'intensité du courant électrique, excepté l'intensité minima, à laquelle l'effet physiologique commence à apparaître ou à disparaître.« Die Muskelzuckungen hielten sich für fast alle Intensitätsgrade der halben Welle auf derselben Höhe. Darnach fände die Anschauung einzelner Autoren, dass nur eine ganz bestimmte Phase des Stromverlaufes die reizende Wirkung ausübt, die auch durch weiteren Zuschuss von Stromesintensität nicht mehr gesteigert werden kann, eine erneute Bestätigung. — Soviel über die Geschichte unsres Themas.

Ueber die Erzeugung der Ströme mittels der Reizsirene.

Prinzip und praktische Ausführung.

Nach dieser historischen Exkursion, die die Ergebnisse ähnlicher Untersuchungen in engen Rahmen zusammengedrängt vor Augen führen sollte, will ich mit der Beschreibung der Vorrichtungen beginnen, die an der von Grützner konstruierten Reizsirene getroffen wurden, und die dem Postulate genügen konnten, Stromverläufe der verschiedensten Art herzustellen. Aus der Reihe der möglichen Variationen sollen dann zwei Hauptypen für die Untersuchung besondere Verwertung finden.

Ich kann mich darauf beschränken, über die Reizsirene selbst, auf deren ausführlichere Beschreibung und Skizzierung in der Schott'schen Arbeit ich hinweisen möchte, einige kurz gefasste Angaben zu machen.

Den Polen eines einem Siemens'schen Telephone entnommenen kräftigen Hufeisenmagneten sitzen einander zugekehrt, wagrecht gestellte Eisenstücke auf, welche einen Spalt zwischen sich lassen, der 19 mm lang, 5 mm breit und 3 mm hoch ist. Die Eisenstücke als Polschuhe, die mit dünnem Drahte bewickelte Spulen tragen, begrenzen einen Raum, der ein magnetisches Feld darstellt, durch welches auf der Peripherie einer Messingscheibe aufgesetzte flächenförmige Eisenstücke hindurchrotieren können. Indem diese dabei das magnetische Moment verändern, erzeugen sie in den Spulen Induktionsströme, deren Verlauf in der Hauptsache von viererlei Bedingungen abhängig ist: Einmal von der magnetischen Intensität des Hufeisenmagnetes und der Beschaffenheit der Induktionsspule, ferner von der Form des Eisenstückes, das die magnetischen Kraftlinien schneidet, dann aber auch von der Rotationsgeschwindigkeit, welche der Messingscheibe mit dem aufsitzenden flächenförmigen Eisenstücke erteilt wird.

Alle für den Verlauf der Induktionsströme wesentlichen

Faktoren sind variabel. Aus ihrer entsprechenden Gruppierung resultiert ein theoretisch ziemlich genau voraus zu bestimmender Stromverlauf.

Bei der Art der Konstruktion der Reizsirene ist eine Veränderung des ersten Faktors nur in negativem Sinne, nämlich eine Abschwächung des Magnetismus durch Anlegen von Ankern an die Pole möglich. Würde dem permanenten Magneten ein Elektromagnet substituirt werden, dann wäre die Möglichkeit der Veränderung eine weit grössere.

Da ferner die Modifikation des zweiten und vierten Faktors jederzeit leicht zu bewerkstelligen ist, so muss in der zu treffenden Anordnung das Hauptgewicht auf die Form des rotierenden flächenförmigen Eisenstückes zu legen sein.

Es ist nun eine bekannte Thatsache, dass durch Veränderung der magnetischen Intensität Induktionsströme in einem dem Magneten benachbarten Leiter, bei der Reizsirene in den Drahtspulen, auftreten müssen. Dazu mag aber bemerkt sein, dass nur in die Zeit des Ueberganges von einem Intensitätsgrade in einen andern Elektrizitätsbewegungen fallen, während der veränderte Zustand als solcher, wenn anders er bestehen bleibt, in keiner Weise elektrizitätserregend wirkt. Nur der Uebergang von einer Gleichgewichtslage in eine andere lässt als äquivalenten Ausdruck der Veränderung Induktionsströme entstehen.

Als Mittel, den magnetischen Intensitätsgrad zu variieren, bietet sich von selbst das Eisen dar, das also auch bei der Reizsirene das modifizierende Moment in Form von flächenförmigen Eisenstücken darstellt. Bringt man ein derartiges Stück in ein magnetisches Feld, dann schneidet ersteres entsprechend seiner Gestalt eine Anzahl von Kraftlinien aus letzterem aus; diesem Vorgange entspricht aber eine teilweise Absorption d. h. Schwächung des disponiblen Magnetismus.

Da nun Schwächung und Verstärkung des Magnetismus Zustandsänderungen von einer indifferenten Gleichgewichtslage aus nach entgegensetzten Richtungen darstellen, so verläuft auch die Elektrizitätsbewegung entsprechend diesen Veränderungen in entgegengesetztem Sinne.

Nach der Erwägung, dass Zustandsänderungen stets ein zeitliches Moment in sich tragen, wird man nun unschwer zur besseren Orientierung dem Verlaufe des Induktionsstromes eine graphische Darstellung verleihen können, wenn man die der Zeit entsprechenden Abschnitte als Abscissen, die dem Grade der magnetischen Zustandsänderung äquivalenten Inten-

sitäten der Elektrizitätsbewegung für einen bestimmten Zeitpunkt als Ordinaten in einem Koordinatensysteme aufträgt.

Es lässt sich nun bestimmt voraussagen, dass, wenn plötzlich die ganze Höhe h eines Eisenstückes E von der Form wie es die Fig. 1 darstellt, zwischen die linear gedachten Pole P des Magneten, also in das magnetische Feld eintritt, infolge der momentanen Absorption des Magnetismus ein Induktionsstrom resultieren wird, der momentan ansteigt und, wenn die nun folgenden Teile des Eisenstückes gleich lang sind, infolge der nun eintretenden Konstanz des magnetischen Zustandes ebenso rasch abfällt. Dem zeitlichen Verlauf würde bei graphischer Notierung ein unendlich kleiner Abschnitt auf der Abscisse entsprechen. In dem Momente aber, in welchem das Eisenstück in seiner ganzen Höhe das magnetische Feld wieder verlässt, entspricht der Wiederherstellung der magnetischen Intensität zu ihrer ursprünglichen Grösse ein Induktionsstrom entgegengesetzter Richtung, aber von annähernd gleicher Intensität und gleichem zeitlichen Verlaufe wie der vorhergehende; und es bestätigte sich diese Annahme auch bei den Versuchen. Denn man wird annehmen dürfen, dass gemäss der ganzen Anordnung eine Beeinflussung durch Selbstinduktion der Spule beim Ein- und Austreten des Eisenstückes in und aus dem magnetischen Felde den Verlauf des Stromes nicht wesentlich stören wird.

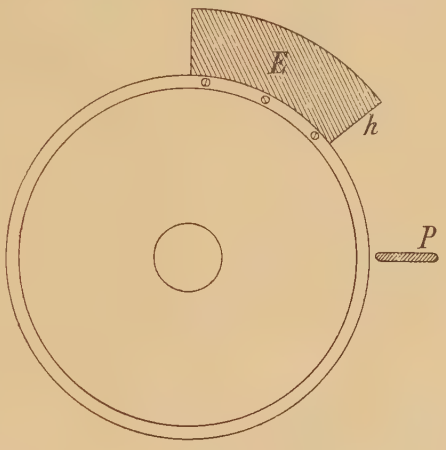

Fig. 1.

Auch Dämpfungserscheinungen von Seiten der rotierenden Messingscheibe dürften bei der Konstruktion der Sirene auszuschliessen sein.

Verleiht man aber dem Eisenstücke E etwa eine Form, wie sie durch Fig. 2 skizziert ist, so kann dasselbe bei der Rotation durch das magnetische Feld nicht sofort in seiner ganzen Höhe h eintreten, sondern es erreicht dieselbe erst nach einiger Zeit. Dementsprechend wird auch der Induktionsstrom langsamer ansteigen und unter bestimmten Voraus-

setzungen ebenso langsam abfallen. Dem ein- und austretenden Teile verbunden durch den Teil von grösster Höhe, entsprechen natürlich auch hier Elektrizitätsbewegungen in entgegengesetzter Richtung.

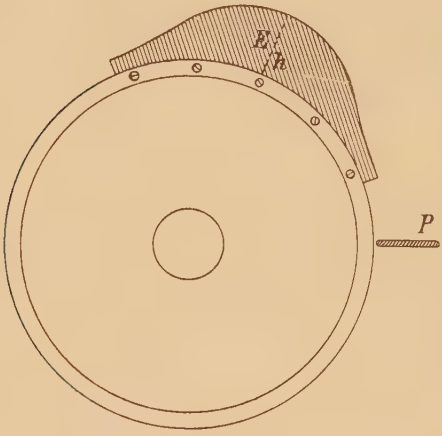

Fig. 2.

Soll nun aber dem Stromverlaufe eine ganz bestimmte Gestalt verliehen werden, so genügt diese einfache Betrachtung nicht, sondern es müssen bestimmte Beziehungen die einzelnen Teile des Eisenstückes untereinander verbinden; denn nur indem diese Beziehungen in gesetzmässiger Weise hergestellt werden, kann ein a priori anzugehender, innerhalb gewisser Grenzen leliebig zu variierender Stromverlauf erzielt werden.

Um diesem Ziele näher zu kommen, stellen wir folgende Ueberlegungen an, die teilweise Analoga darstellen zu den Mitteilungen, die A. Fick in einer Abhandlung »Ueber die Druck- und Geschwindigkeitskurve in der Arteria radialis des Menschen« gemacht hat [1]).

Denkt man sich den Verlauf eines Induktionsstromes in der oben angeführten Weise graphisch so dargestellt, dass seiner erreichten Intensität die Höhe einer Ordinate entspricht, so kann die Zeit, innerhalb welcher diese Intensitätshöhe sich herstellt, durch bestimmte Abschnitte auf der Abscisse abgegrenzt werden.

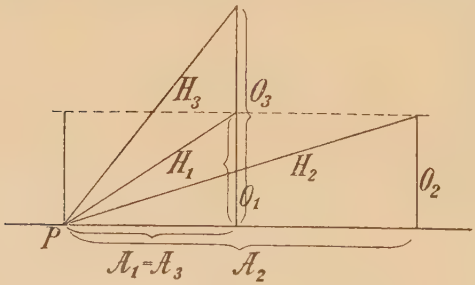

Fig. 3.

Erhebt sich nun von einem bestimmten Punkte P der Abscisse aus die Stromstärke allmälig in mess-

1) A. Fick: Die Druckkurve und die Geschwindigkeitskurve in der Arterie radialis des Menschen. Separat-Abdruck aus den Verhandlungen der physikalisch-medizinischen Gesellschaft zu Würzburg 1886.

barer Zeit, die dem Abschnitte A_1 auf der Abscisse entsprechen soll, dann wird die den Stromverlauf charakterisierende Linie H_1 durch die Hypothenuse eines rechtwinkeligen Dreiecks dargestellt, dessen eine Kathete durch die Ordinate O_1, dessen andere durch das die Zeit repräsentierende Stück A_1 gegeben ist. Man sieht, dass diese Linie H_2 um so weniger steil ansteigt, auf je längere Zeit A_2 der Stromanstieg bei gleicher zu erreichender Höhe $O_2 = O_1$ ausgedehnt wird. Andrerseits wird in gleichen Zeitabschnitten $A_3 = A_1$ der Anstieg H_3 um so steiler verlaufen, je grösser die durch die Ordinate O_3 notierte Intensität wird. Erlangt aber die Intensität vom Punkte P aus in unmessbar kurzer Zeit (Abschnitt auf der Abscisse geradezu $= o$) ihren grössten Wert, dann wird die den Stromverlauf repräsentierende Linie einer im Punkte P auf der Abscissenaxe errichteten Senkrechten sehr nahe kommen. Die Stromstärke wird bei gleicher zu erreichender Intensitätshöhe um so geringer sein für jeden Punkt der Stromkurve, auf je längere Zeit der Stromverlauf ausgedehnt wird.

Aus den angestellten Betrachtungen ergiebt sich, dass die Steilheit des Anstieges lediglich abhängig ist von dem zu erreichenden Intensitätsgrade und dem zeitlichen Verlaufe des Anstieges. Da es nun wünschenswert ist, jederzeit ein Maass für die Steilheit des Anstieges zu besitzen, so braucht man nur nach dem oben ausgesprochenen Satze dem Verhältnis der die Intensität repräsentierenden Ordinate zu der die Zeit darstellenden Abscisse einen entsprechenden Ausdruck zu verleihen. Es ist dieses Verhältnis gleich der Tangente des von der Hypothenuse und der Abscissenaxe eingeschlossenen Winkels.

Die Erwägungen, die sich bisher nur auf ein Stromelement bezogen haben, führen auch zur Bestimmung der Intensität in irgend einem Punkte einer beliebig gestalteten Stromkurve. Es giebt auch hier das Verhältnis der Ordinate zur Abscisse, als Ausdruck der Steilheit des Anstieges, ein Maass für die dem Punkte zukommende Stromstärke.

Um daher für irgend einen Punkt P einer Stromkurve SK die zugehörige Intensität zu bestimmen, braucht man nur in diesem Punkte eine Berührungslinie AP anzulegen.

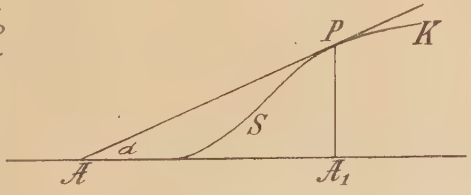

Fig. 4.

Die Tangente des Winkels α, den die Linie AP mit der Abscissmasse AA_1 einschliesst, giebt ein relatives Maass für die dem Punkte zukommende Stromstärke.

Erinnern wir uns nun, dass zur Erzeugung von Induktionsströmen die Modifizierung des magnetischen Zustandes durch Eisen in Anwendung kommen soll, so besteht unsere Aufgabe darin, die vorhergegangenen Erwägungen zur Konstruktion eines Eisenstückes zu verwerten, um mit demselben Ströme verschiedenen Anstieges zu erhalten.

Die Grösse der Veränderung des Magnetismus von einem Momente zum andern giebt ein Maass für die Stromstärke der Induktionsströme. Erfolgt die Veränderung aus einem bestimmten magnetischen Zustand in einen andern in messbarer Zeit, dann wird als äquivalenter Ausdruck der Veränderung die Stromstärke in jedem Punkte des Stromverlaufs geringer sein, als wenn die Zustandsänderung in kürzerer Zeit vor sich geht. Nun kann man aber die Zustandsänderung in kürzerer oder längerer Zeit vor sich gehen lassen, je nachdem man steile oder weniger steil ansteigende Eisenstücke durch das magnetische Feld rotieren lässt. Man sieht also, dass hier die Steilheit des dem magnetischen Felde zugekehrten Eisenstückrandes bei gleichmässiger Dicke des Eisenstückes von wesentlichem Einfluss auf die Veränderung des magnetischen Zustandes und damit auf den Verlauf des Induktionsstromes ist.

Zu graphischer Darstellung sei der Grad der jeweiligen durch das Eisen modifizierten magnetischen Intensität als Ordinate, die Zeit aber, innerhalb welcher die Veränderung des magnetischen Zustandes erfolgt, als Abscisse aufgetragen.

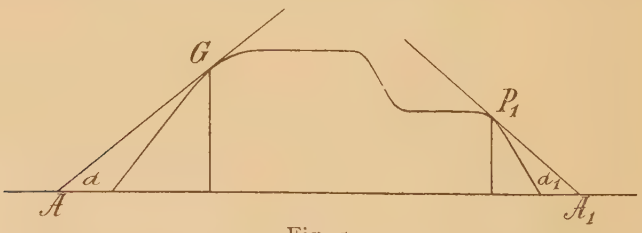

Fig. 5.

So lange die Kurve ansteigt, lassen sich für jeden Punkt des Anstieges Berührungslinien ziehen. Die Tangente des von der der Berührungslinie AP (Fig. 5) und der Abscissenaxe AA_1 eingeschlossenen Winkels α giebt ein Maass für die jeweilige mag-

netische Intensität und die ihr entsprechende Elektrizitätsbewegung. Erhält sich die Kurve, indem der Intensitätszustand der gleiche bleibt, auf derselben Höhe, dann verläuft die Berührungslinie parallel mit der Abscissenaxe, und der Tangente des Winkels von O^0 entspricht auch eine Induktionswirkung gleich Null. Fällt die Kurve ab, dann entsprechen ihrer jeweiligen Steilheit Induktionsströme verschiedener Stärke aber entgegengesetzter Richtung, indem die magnetische Intensität wieder ihrer ursprünglichen Grösse zueilt.

Aus allen diesen Ueberlegungen resultiert aber, dass die Steilheit des Eisenstückrandes ein Maass abgiebt für die Intensität der durch die entsprechenden Veränderungen des magnetischen Moments bedingten Induktionsströme.

Nach diesen theoretischen Explikationen dürfte die Konstruktion von Eisenstücken zur Erzeugung beliebig an- und absteigender Ströme keinerlei Schwierigkeit bereiten.

Wir wählen aus Zweckmässigkeitsgründen zur vergleichenden Untersuchung aus der Zahl der möglichen Konstruktionen zwei Typen von Eisenstücken aus, nämlich solche, die bei der Rotation durch das magnetische Feld einen langsamen, aber gleichmässig verlaufenden An- und Abstieg garantieren und ferner solche, die die positive und negative Stromesschwankung momentan verlaufen lassen.

Konstruktion des Eisenstückes zur Erzeugung von Strömen langsamen An- und Abstieges.

Als Hülfsmittel für die Konstruktion wurde im Prinzipe der von A. Fick (cf. pag. 20 Anm. 1) angegebene Tangentenmesser verwendet, der nur eine an sich unwesentliche Modifikation erfuhr. Auf Pauspapier wurden zwei sich rechtwinkelig schneidende Linien aufgetragen, die vom Schnittpunkte aus nach Centimetern und Millimetern abgeteilt waren. Auf der einen Linie endete die Graduierung im Teilstriche 10, auf der andern wurde sie beliebig fortgesetzt.

Es kann nun dieser Tangentenmesser zur Bestimmung der Intensität in irgend einem Punkte P einer Stromkurve SK in folgender Weise (Fig. 6) gebraucht werden. Legt man die Linie a mit der Graduierung bis 10 dem Punkte P der Stromkurve, dessen Intensität bestimmt werden soll, so an, dass der Teilstrich 10 mit diesem Punkte zusammenfällt und die den Teilstrich tragende Linie Berührungslinie wird,

so braucht man nur vom Teilstriche 10 aus der Abscissenaxe AB parallel eine Linie $A_1 B_1$ zu ziehen, die die andere

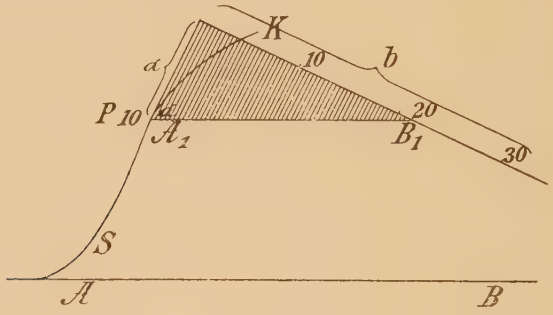

Fig. 6.

Linie b des Tangentenmessers mit der unbegrenzten Teilung in einem bestimmten Teilstriche etwa in 20 schneidet. Die durch den Teilstrich abgegrenzte Zahl von Centimetern durch 10 dividiert entspricht dem Verhältnis der beiden Katheten oder der Tangente des Winkels α, welcher von der der Abscissenaxe parallelen Linie $A_1 B_1$ als Hypothenuse und von der die Teilung bis 10 tragenden Linie als Kathete eingeschlossen wird. Das Resultat der Division stellt ein relatives Maass dar für die in diesem Punkte herrschende Stromstärke.

Ebenso wie man auf die angegebene Weise mit dem Tangentenmesser analytisch verfahren kann, so soll er andrerseits auch wieder synthetische Verwendung finden zur Konstruktion des langsam aber regelmässig ansteigende Ströme erzeugenden Eisenstückes.

Der Einfachheit wegen sei angenommen, dass das Eisenstück nicht der Peripherie einer Scheibe aufgesetzt sei, sondern mit geradliniger Basis senkrecht zu den linear gedachten Polen durch das magnetische Feld bewegt werde.

Man errichtet auf einer Linie (Fig. 7) AB, die zur Abscisse wird, in bestimmten gleich grossen Abständen Senkrechte S_1 S_2 S_3 etc. und legt da, wo die erste Senkrechte S_1 die Abscisse AB schneidet den Tangentenmesser so an, dass der Teilstrich 10 der Linie, die nur bis dahin graduiert ist, mit diesem Punkte P_1 zusammenfällt. Eine an diesem Punkte eingesteckte Nadel befestigt das Papier, gestattet aber doch eine Drehung desselben um die Nadel als Axe. Auf der

anderen Linie des Tangentenmessers mit der unbegrenzten Teilung wird der Teilstrich 1 durch passende Drehung des Papiers so angelegt, dass er auf die Abscisse AB fällt. Es bildet nun die Linie $P_1 o$ mit der Teilung bis 10 mit der Abscisse einen bestimmten Winkel α_1, dessen Tangente durch das Verhältnis $\frac{1}{10}$ dargestellt ist. Den Punkt P_2, in dem die Linie $P_1 o$ mit der Teilung bis 10 sich mit der zweiten Senkrechten S_2 schneidet, markiert man durch einen Nadelstich. Es ist also innerhalb der beiden Senkrechten S_1 und S_2 die Tangente des Winkels in irgend einem Punkte der ansteigenden Graden $P_1 o$ gleich gross und damit auch die Steilheit.

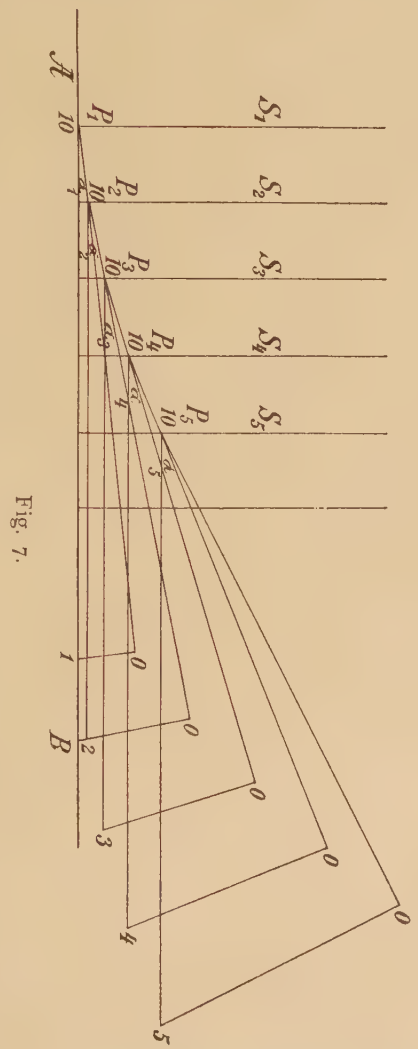

Fig. 7.

Durch den Schnittpunkt P_2 der aufsteigenden Graden $P_1 o$ mit der zweiten Senkrechten S_2 zieht man eine mit der Abscisse AB parallele Linie, legt in demselben Schnittpunkte P_2 den wieder freigemachten Tangentenmesser mit dem Teilstrich 10 an und dreht das wieder mit der Nadel befestigte Papier so, dass der Teilstrich 2 der anderen Linie auf die mit der Abscisse parallele Linie P_2 2 fällt. Dann ist die Tangente des gebildeten Winkels α_2 dargestellt durch das Verhältnis $\frac{2}{10}$. Man markiert dann wieder den Schnittpunkt der

Linie $P_2 o$ mit der Teilung bis 10 mit der dritten Senkrechten S_3, zieht durch den Schnittpunkt P_3 eine zur Abscisse parallele Linie $P_3 3$ und fährt in dieser Weise fort, bis das der Tangente des Winkels entsprechende Verhältnis genügend gross geworden ist. In ganz ähnlicher Weise lässt man dann dieses Verhältnis wieder bis zu seiner ursprünglichen Grösse $\frac{1}{10}$ abnehmen.

So lange nun das Verhältnis der beiden Katheten grösser wird, so lange wird, wenn man einem Eisenstück die durch die Konstruktion gewonnene Form verleiht, analog der immer grösseren Steilheit die magnetische Intensität verändert und darnach der dadurch erzeugte Induktionsstrom regelmässig ansteigen: Zunahme des Stromes. Er beginnt regelmässig abzufallen, sowie das Verhältnis nicht mehr nach derselben Grösse fortschreitet, sondern in bestimmter Reihenfolge abnimmt: Abnahme des Stromes. Nach derselben Form aber in entgegengesetzter Richtung findet die Elektrizitätsbewegung statt, wenn immer kleinere symmetrisch zur vorher beschriebenen Kurve angeordnete Teile des Eisenstückes das magnetische Feld verlassen.

Bei Eisenstücken dieser Konstruktion würde die Steilheit innerhalb eines auf der Abscisse durch je zwei Senkrechte begrenzten Zeitabschnittes gleich sein. Für die verschiedenen aufeinanderfolgenden Zeitabschnitte nimmt die Steilheit nach einem bestimmten Verhältnisse zu oder ab.

Um nun nicht stossweise eine Aenderung in der Steilheit zu erreichen, bringt man bei der Konstruktion die auf der Abscisse errichteten Senkrechten möglichst nahe an einander; dadurch erhält man genügend Punkte, um eine Kurve auszuzeichnen, die als Begrenzung eines Eisenstückes gegen das magnetische Feld hin dienen kann. Der Form des Eisenstückes angemessen wird bei der Bewegung desselben durch das magnetische Feld ein annähernd gleichmässig ansteigender und absteigender Strom resultieren.

Um derartige Eisenstücke für die Reizsirene zu verwenden, muss in der Konstruktion eine entsprechende Modifikation getroffen werden, indem diese Stücke auf die Peripherie einer Scheibe aufgesetzt werden sollen.

Man verfährt bei der Konstruktion in der Weise, dass man in bestimmten Abständen, die der jeweiligen Entfernung der Senkrechten von einander in der vorigen Konstruktion entsprechen, durch die Peripherie eines Kreises, dessen

Durchmesser gleich dem der Messingsscheibe ist, verlängerte Radien zieht. Dann trägt man centrifugalwärts von der Peripherie aus Strecken auf den verlängerten Radien ab, die bei derselben Aufeinanderfolge gleiche Grösse mit den in der vorigen Konstruktion erhaltenen Ordinaten der Kurve haben. Die Endpunkte der abgetragenen Strecken mit einander verbunden stellen eine Kurve als Begrenzung des Eisenstückes gegen das magnetische Feld hin dar.

Nach mehrfachen Abänderungen wurde dem die langsam ansteigenden Ströme erzeugenden Eisenstücke etwa die in Fig. 8 dargestellte Form gegeben, während das Eisenstück

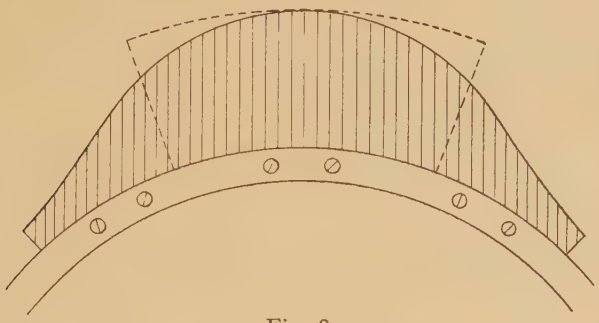

Fig. 8.

zur Erzeugung rasch verlaufender Stromschwankungen in der Weise wie es Fig. 9 angiebt, gestaltet wurde. Nach den

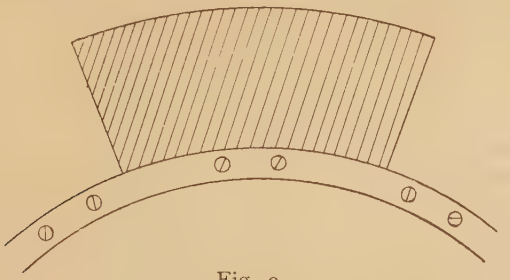

Fig. 9.

angestellten Erörterungen bedarf die Wirkungsweise des letzteren wohl keiner näheren Erläuterung.

Die physikalischen Eigenschaften der durch die Eisenstücke erzeugten magnet-elektrischen Ströme.

Um nun den theoretischen Erwägungen eine physikalische Grundlage zu verleihen, wurde eine Prüfung der durch die Eisenstücke erzeugten Ströme mittelst des Spiegelgalvanometers vorgenommen.

Vorher wären aber die Bedingungen zu besprechen, die für die zu erwartenden Resultate massgebend sind. Die für die Erzeugung der rasch und langsam ansteigenden Ströme konstruierten Eisenstücke waren von gleicher Höhe. Sie seien in der Folge als scharfe und stumpfe Zähne charakterisiert. Die Länge des stumpfen Zahnes entsprach dem 4.24^{ten} Teile der Peripherie, zu der ein Radius von 8.75 cm gehörte. Die Länge des scharfen Zahnes war so angeordnet, dass in dem Momente, da am stumpfen Zahne der höchste Grad der Steilheit zu erwarten war, der scharfe Zahn einsetzte, und an dem entsprechend symmetrisch gelegenen Teile wieder aufhörte (Fig. 8). Auf die Peripherie der Messingscheibe wurden jeweils bis zu vier Zähne einer Art aufgesetzt.

Bei einer halben Umdrehung des Triebrades in 1 Sekunde, drehte sich die Scheibe $4\frac{1}{2}$ mal um ihre Axe. Daraus berechnet sich für den stumpfen Zahn die Dauer des Stromverlaufes einer Richtung, wenn der demselben entsprechende Teil des Zahnes den $4.24 \times 2^{\text{ten}}$ Teil der Peripherie beträgt, zu $\frac{1}{4.5.\ 4.24.2} = \frac{1}{38,16}$ Sekunde.

Da es für mancherlei Versuche wünschenswert erschien, gleich gerichtete Ströme zur Verfügung zu heben, so wurden entsprechend dem aus- oder eintretenden Teile des Zahnes auf der Messingscheibe Sektoren von Pergamentpapier aufgeklebt. An die Scheibe lehnten Metallbürsten an, die abwechselnd auf dem Messing und den isolierenden Sektoren schleiften.

Diese Bürsten waren mit den Polen der Maschine verbunden, von denen auch die Drähte für den Nervenkreis ausgiengen (Parallelschaltung). Befanden sich die Bürsten zur Zeit, da ein Induktionsstrom z. B. bei eintretendem Zahne erregt wurde, auf dem Metall, dann fand kurzer Schluss statt und der Strom wurde des ausserordentlich überlegenen Widerstandes im Nervenkreise wegen von diesem abgeblendet. Waren aber die Bürsten durch das Pergamentpapier von der Scheibe isoliert in dem Momente, da der austretende Teil

des Zahnes induktionserregend wirkte, dann musste der ganze Strom seinen Weg durch den Nervenkreis nehmen. Wurden also die Sektoren allen austretenden Teilen der Zähne gegenüber angebracht, dann cirkulierten im Nervenkreise die durch die austretenden Teile der Zähne erzeugten Ströme gleicher Richtung.

Es liess sich auch eine Differentialanordnung treffen, indem man den eintretenden Teil des stumpfen Zahnes und den austretenden Teil des scharfen isolierte; erfolgte bei der Rotation ein Ausschlag immer nach einer bestimmten Richtung, dann entsprach diese dem überlegenen Zahne.

Um nun eine Prüfung des Stromanstieges bei Rotation des stumpfen Zahnes *Z* (Fig. 10) zu ermöglichen, wurde gegenüber der ganzen Länge des stumpfen Zahnes *Z* auf der Scheibe ein Sektor *S* von isolierendem Pergamentpapier mittelst Schellackfirniss aufgeklebt und aus dem Sektor ein schmaler Streifen *M* in der Richtung eines Radius ausgeschnitten, so dass das blanke Metall in diesem Spalte sichtbar wurde.

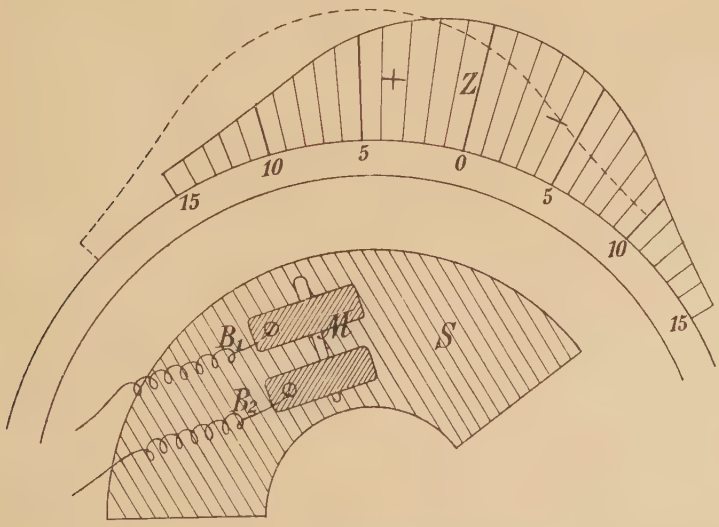

Fig. 10.

Der ganze Zahn wurde entsprechend dem aus- und eintretenden Stücke in zwei gleich grosse Abschnitte geteilt. Von der abteilenden Linie aus wurden nach beiden Seiten hin auf dem der Peripherie der Scheibe aufliegenden Kreis-

stücke des Zahnes durch fünfzehn gleich weit von einander entfernte Punkte die verlängerten Radien auf dem Eisenstücke ausgezogen. Der Zahn konnte auf der Peripherie der Scheibe so verschoben werden, dass die Verlängerung des schmalen Streifens Metall *M* auf verschiedene Teile des Eisenstückes traf.

Die Schleifbürsten B_1 und B_2 wurden nicht wie bei der später zu beschreibenden Reizmethode parallel zum übrigen Stromkreise angeordnet, sondern direkt in den Prüfungsstromkreis, der ausser dem Spiegelgalvanometer auch noch einen Quecksilberschlüssel und eine Wippe enthielt, aufgenommen. Stellte man nun die Bürsten so ein, dass sie in dem Momente, wo ein bestimmter Teil des Zahnes z. B. $10^1/_2$ des Zahnes *Z* (Fig. 10) mitten im magnetischen Felde stand, dem der Isolierung entbehrenden Metallstreifen *M* anlagen, dann konnte in den Prüfungsstromkreis ein Stromstoss gelangen von einer Intensität, die der Steilheit des betreffenden Zahnteiles entsprach. Traf die Verlängerung des Metallstreifens nach einander alle 15 Teilstriche, dann konnte man durch Beobachtung im Spiegelgalvanometer die den einzelnen Teilen des Zahnes zukommenden Induktionswirkungen nach der zu- und abnehmenden Seite isoliert bestimmen und dadurch den ganzen Stromverlauf systematisch feststellen.

Bei der Spiegelablesung stand das Fernrohr in einer Entfernung von 254 cm vom Spiegel. Auf der Skala gieng die Teilung für den Ausschlag einer Richtung bis zu 50 cm. Da demnach die Ablenkung des Magnetringes aus der Meridianebene einem Winkel tang $2\alpha = \frac{50}{254}$, α also etwas über 5^0 entsprach, so konnten die Grade der Spiegelablesung den Stromstärken proportional angesehen werden. Die Untersuchung ergab, dass bis zu dem Punkte grösster Steilheit des Zahnes der Strom ziemlich gleichmässig anstieg, um von diesem Punkte aus annähernd gleichmässig abzufallen. Auf dieselbe Weise wurde auch die Prüfung eines Zahnes von gleichmässiger Steilheit vorgenommen. Der Ausschlag blieb für die verschiedenen Teile des Zahnes gleich gross.

Störend erwies sich bei der Beobachtung das stossweise Auftreten des Stromes; besondere Rücksicht musste auch stets auf möglichst gute Stellung der Bürsten genommen werden.

Analog der v. Fleischl'schen Graduierung eines Induktionsapparates[1]) mittels des physiologischen Rheoskopes wurde

1) E. Fleischl von Marxow: Ueber die Graduierung elektrischer Induktionsapparate. 1875. Gesammelte Abhandlungen S. 475.

derselbe Stromverlauf für den stumpfen Zahn in der Weise konstatiert, dass bei der Rotation des Zahnes für alle 15 Teile beider Hälften die ersten minimalen Zuckungen beobachtet wurden. Um diese minimal zu erhalten, waren für die einzelnen Teile des Zahnes entsprechende Widerstandsänderungen nötig; diese gaben ein Maass für die den betreffenden Teilen des Zahnes zukommenden Intensitätsgrade des Induktionsstromes. Trug man die jeweiligen Widerstände in Siemenseinheiten ausgedrückt als Ordinaten auf, dann erhielt man eine dem Stromverlaufe entsprechende Kurve.

Eine Vergleichung des stumpfen und scharfen Zahnes ergab bei Isolierung des ganzen ein- oder austretenden Teiles eines jeden Zahnes für beide gleiche Intensität bei ungleicher Anstiegsdauer.

Ausserordentlich charakteristisch dokumentierten sich für die verschiedenen Zähne die Unterschiede des Stromverlaufes im Telephone. Während die durch die scharfen Zähne erzeugten Induktionsströme laut knackende Töne hervorbrachten, vernahm man als Wirkung der von den stumpfen Zähnen inducirten Ströme ein leicht sausendes Geräusch. Elektrolytische Wirkung war bei der Schwachheit der Ströme nur in ganz geringem Maasse bei Anwendung von vier scharfen Zähnen und bei Strömen gleicher Richtung zu erzielen.

Die physiologischen Wirkungen der Ströme.

Die von Grützner angenommene specifisch verschiedene Erregbarkeit der Nerven und Muskelelemente hat durch die Arbeit von Grützner und Schott an Wahrscheinlichkeit gewonnen. Es drängte sich naturgemäss die Frage auf, worin denn diese Abweichung von dem allgemeinen Gesetze der Nervenerregung seine Begründung finde. Da zu ihrer Erklärung die histologische Basis wohl einen Anhalt, aber keinen für sich sprechenden Beweis liefern konnte, ferner die Beobachtung der Kontraktion unter dem Mikroskope mancherlei Schwierigkeiten unterworfen ist, hat Grützner auf Grund aller bisher von ihm auf experimentellem Wege gewonnenen Resultate, die besonders in der Arbeit von Grützner und Bonhöffer [1]) niedergelegt sind, den Gedanken ausgesprochen, es stelle speziell der Muskel keine physiologische Einheit dar, sondern er enthalte in der Hauptsache zweierlei Fasergruppen, solche, die auf schnell verlaufende Reize besser reagieren, die dicken, die in den weissen rasch zuckenden und rasch ermüdenden Adduktorenfasern des Kaninchens vertreten sind, und solche, die sich Zeitreizen zugänglicher zeigen, die dünnen Fasern, wie sie beim Frosche gefunden werden, welche den langsamen, im Tetanus aber kolossal leistungsfähigen roten Semitendinosusfasern des Kaninchens entsprechen.

Vom teleologischen Standpunkt aus lässt sich diese Annahme um so mehr verteidigen, wenn man mit Grützner annimmt, dass die flinken Elemente geringeren Anforderungen, die an den Muskel gestellt werden, zu genügen bestimmt sind, während eine Dauerarbeit als äquivalenter Ausdruck einer Dauerreizung von den massigen einmal in Bewegung geratenen Reservetruppen, den trägen Fasern, mit um so mehr Energie geleistet wird. Nach dieser Hypothese müsste man annehmen, dass der durch langsamere, aber um so kräftigere Kontraktion gekennzeichnete Krötengastrocnemius überwiegend träge, d. h. dünne Fasern enthalte. Zählungen, die

1) Ueber einige physiologische Eigenschaften dünn- und dickfaseriger Muskeln bei Amphibien. Archiv für die gesamte Physiologie Bd. 47.

von Grützner und Bonhöffer mit dem Okularmikrometer angestellt worden waren, ergaben auch ein bedeutendes Uebergewicht der dünnen Fasern.

Wenn einmal eine Regel wie das allgemeine Gesetz der Nervenerregung durch Konstatierung von Ausnahmen in ihrem Fundamente erschüttert ist, dann liegt die Annahme nahe, dass bei gründlicher Durchsicht des Materials noch mancherlei andere Abweichungen von der angenommenen Norm sich ergeben möchten.

Auch von diesem Gesichtspunkte aus erschien besonders eine vergleichende Untersuchung der Wirkung langsam und rasch verlaufender Ströme auf verschiedene Nerven und Nervenendapparate desselben Tieres und auf Nerven und Nervenendapparate verschiedener Tiere geboten.

Reizmodus.

Die von der Reizsirene meistens bei einer halben Umdrehung des Triebrades während einer Sekunde durch die Eisenstücke der oben angegebenen Form erzeugten Wechsel- oder gleichgerichteten Ströme, die bei gleicher Intensität verschiedene Anstiegsdauer aufwiesen, wurden zuerst einer Wippe und von hier durch einen zwischengeschalteten Quecksilberschlüssel einem Siemensrheostaten, dessen Widerstand bis zu 5000 Siemenseinheiten durch Ausziehen der Metallstöpsel entfaltet werden konnte, zugeführt. Parallel geschaltet zu diesem Stromkreise giengen vom Rheostaten aus Drähte zu einer Wippe ohne Kreuz, die nach Belieben eine Verbindung des Reizobjektes mit dem Rheostaten und damit auch mit der Reizsirene, dann aber auch eine Verbindung des Reizobjektes mit einem Du Bois-Reymond'schen Galvanometer gestattete, um zu konstatieren, ob nicht anderweitige elektromotorische Kräfte wirksam seien. Ausserdem konnte noch vom Rheostaten aus der Strom zur Bestimmung seiner jeweiligen Intensität dem Galvanometer zugeschickt werden.

Um unipolare Beeinflussungen abzuleiten, wurde in den Nervenkreis der von Grützner konstruierte Schlüssel oder, wenn möglichst gleichmässige Schliessung und Oeffnung erwünscht schien, ein entsprechend angeordneter Quecksilberschlüssel in den Stromkreis aufgenommen.

Die Kaltblüterpräparate wurden stets in einer feuchten Kammer vor der Vertrocknung geschützt; bei Versuchen am Warmblüter durch Benetzung mit physiologischer Kochsalzlösung dasselbe zu erreichen gesucht.

Zur Applikation des Stromes auf den Nerven fanden in der Hauptsache die von Grützner angegebenen unpolarisierbaren schreibfederähnlichen Elektroden Anwendung. Da wo die Anlegung dieser unpolarisierbaren Elektroden ihrer Grösse wegen mit Schwierigkeiten verknüpft war und zugleich mit Wechselströmen gearbeitet wurde, leisteten Platiniridiumelektroden gute Dienste.

Zwischen den einzelnen Reizphasen wurden zur Erholung des Präparates immer Pausen von einigen Minuten gemacht.

Um eine Applikation des Reizstromes in verschiedener Intensität zu ermöglichen, brauchte man nur durch Ausziehen der Stöpsel am graduierten Rheostaten Widerstandseinheiten in den Nebenstromkreis einzuschalten. Der Widerstandszunahme in diesem Kreise entsprach des weit überlegenen Widerstandes im Nervenkreise wegen eine Intensitätszunahme in letzterem Kreise in annähernd proportionaler Weise.

Objekte der Untersuchung.

Als Versuchsobjekt kam zuerst in Betracht die Rana temporaria. Reizungen wurden vorgenommen am Nervus ischiadicus, Nervus brachialis und Nervus vagus.

Versuche am Nervus ischiadicus des Frosches.

Die Präparation geschah in der Weise, dass der Plexus am Austritte aus der Wirbelsäule unterbunden und durchschnitten wurde, nachdem vorher der Rumpf in bekannter Weise mit seinen Adnexen abgetrennt war. Darauf wurde das Präparat mit Nadeln an den Resten der Wirbelsäule auf einer Korkplatte befestigt, die unpolarisierbaren Elektroden in einiger Entfernung vom Querschnitt angelegt und die feuchte Kammer darüber gestülpt.

Wurde das Präparat mit einem du Bois-Reymond'schen Galvanometer in Verbindung gebracht, dann zeigte die Nadel einen Anschlag von wenigen Graden, der durch passendere Anlegung der Elektroden noch um einige Grade herabgedrückt werden konnte. Eine Kompensation des Nervenstromes wurde nicht vorgenommen.

Bei den folgenden Versuchen kamen meistens vier auf die Peripherie der Scheibe aufgesetzte Zähne in Anwendung; der austretende Teil eines Zahnes gab bei der Rotation absteigenden Strom. Beobachtet wurden die ersten deutlichen Zuckungen der Extremität. Als relatives Maass für die reizende

Wirkung des Stromes wurde jeweils die Anzahl der Siemenseinheiten notiert, die in die Nebenschliessung eingeschaltet werden mussten, um jene deutlichen Zuckungen zu erhalten.

Versuch vom 29. III. 97.

Stumpfe Zähne.

a. Wechselströme.
   Effekt: Bei 40 Siemenseinheiten (*SE*) die ersten minimalen Zuckungen in den Phalangen der 4. und 5. Zehe, die bei 60 *SE* deutlicher werden und sich über die ganze Extremität erstrecken.
   Nebenschluss (*NS*) : 60 *SE*.

b. Gleichgerichtete Ströme.
   Absteigender Strom:
   Effekt: Bei 110 *SE* beginnen minimale Zuckungen im Fuss, bei 130 *SE* im ganzen Schenkel.
   NS : 130 *SE*.
   Aufsteigender Strom: Bei 5000 *SE* regelmässige Zuckungen nicht zu erzielen; bei Schiessung des Stromes fand öfters eine einzige Zuckung statt.

Scharfe Zähne.

a. Wechselströme.
   Effekt: Bei 7 *SE* zuckt zuerst die 4. Phalange der 4. Zehe, bei 8 und 9 *SE* vorzüglich der Fuss, bei 10 *SE* der ganze Schenkel.
   NS : 10 *SE*.

b. Gleichgerichtete Ströme.
   Absteigender Strom:
   Effekt: Bei 20 *SE* beginnen die Zuckungen, die bei 24 *SE* deutlich werden.
   NS : 24 *SE*.
   Aufsteigender Strom:
   Effekt: Bei 35 *SE* Zuckungen im Sartorius, bei 37 *SE* im ganzen Schenkel.
   NS : 37 *SE*.

Die vorstehenden Versuche wurden an ein und derselben Extremität vorgenommen. Um die Wirkung des Stromes auch im distalen Verlaufe des Nerven kennen zu lernen, wurde der Nervus ischiadicus des anderen Schenkels in der Mitte des Oberschenkels zwischen Musculus biceps und semimembranosus unter Vermeidung mechanischer Insulte frei-

gelegt, unterbunden und durchschnitten, darauf die Reizung in derselben Weise wie bei den vorhergehenden Versuchen fortgesetzt.

Stumpfe Zähne.

a. Wechselströme.
   Effekt: Bei 150 *SE* beginnen die ersten Zuckungen, die bei 170 *SE* deutlich werden.
   NS: 170 *SE*.

b. Gleichgerichtete Ströme.
   Absteigender Strom:
   Effekt: Zuckungen im Unterschenkel und Fuss, die schon bei 300 *SE* minimal beginnen, deutlich bei 500 *SE*.
   NS: 500 *SE*.
   Aufsteigender Strom:
   Effekt: Bei mehreren Tausend *SE* keine regelmässige Zuckung zu erzielen; bei Schliessung des Stromes tritt manchmal Kontraktion ein.

Scharfe Zähne.

a. Wechselströme.
   Effekt: Erste Zuckungen bei 20 *SE*, die bei 25 *SE* deutlicher werden.
   NS: 25 *SE*.

b. Gleichgerichtete Ströme.
   Absteigender Strom:
   Effekt: Beginn der Zuckungen bei 30 *SE*, ausgeprägt bei 37 *SE*.
   NS: 37 *SE*.
   Aufsteigender Strom:
   Effekt: Einzelne Zuckungen beginnen schon bei 70 *SE*, werden aber erst bei 110 *SE* regelmässig.
   NS: 110 *SE*.

Diese Versuche bestätigten das Du Bois-Reymond'sche Gesetz in vollem Umfange. Es erwiesen sich für die Muskeln bei Reizung vom Nerven aus die schnell ansteigenden Ströme bedeutend wirksamer als die langsamer ansteigenden bei schliesslich gleicher Intensität des Stromes.

Bestätigung fand auch die durch Budge [1]) bekannt gewordene Thatsache, dass der Nerv in seinem peripheren

1) Budge: Virchow's Archiv XVIII p. 457, 1860.

Verlaufe für elektrische Reize weit weniger erregbar ist. Dass die Ursache der stärkeren Reizwirkung an höher gelegenen Strecken nicht allein auf dem Querschnittseinflusse beruht, wenn die Elektroden in der Nähe des Querschnitts angelegt werden, dürfte aus diesen Versuchen hervorgehen; denn obwohl bei proximaler und distaler Reizung stets ein Nervenquerschnitt in Betracht kam, dessen Wirkung sich also in beiden Fällen hinzuaddieren musste, war dennoch die Reizbarkeit im proximalen Verlaufe des Nerven grösser als im distalen. Voraussetzung bei dieser Annahme wäre, dass der Nervenquerschnitt in beiden Fällen gleichen Einfluss ausübe.

Was die Qualität der Zuckungen betrifft, so zeigten die bei langsam ansteigenden Strömen erhaltenen Zuckungen eine gewisse Unregelmässigkeit und einen längeren Verlauf, Momente, die um so mehr in die Augen traten, je länger die Reizung fortgesetzt wurde. Es erwies sich also auch hier die Qualität des Reizes von Einfluss auf die Dauer der Kontraktion.

Bei einigen der vielen angestellten Versuche trat die merkwürdige Erscheinung hervor, dass durch die scharfen Zähne nur Zuckungen im Fusse ausgelöst wurden, während von den durch die stumpfen Zähne erzeugten Strömen nur die Muskulatur des Oberschenkels, besonders die Adduktoren in Kontraktion versetzt wurden. Auch eine dem Ritter-Rollet'schen Phänomen ähnliche Erscheinung konnte beobachtet werden, indem bei allmäliger Verstärkung des bei Rotation der stumpfen Zähne erhaltenen Stromes zuerst eine Beugung, dann eine Streckung erfolgte; es gelang jedoch nicht, eine Konstanz der Erscheinung nachzuweisen.

Die Prüfung der sekundären Wirksamkeit ergab, dass bei Reizung des gewöhnlichen Nervmuskelpräparates mit den langsam ansteigenden Strömen sekundäre Zuckungen und sekundärer Tetanus auftraten, jedoch bei langsam verlaufenden Stromschwankungen nicht in so prompter Weise wie bei schnell verlaufenden.

Der Beachtung wert scheint aber die Thatsache zu sein, dass bei aufsteigendem, gleichgerichtetem, langsamer verlaufendem Strome Zuckungen selbst bei mehreren Tausend Siemenseinheiten im Nebenschluss nicht zu erzielen waren, während bei absteigendem Strome regelmässige Zuckungen schon bei 130 Siemenseinheiten sich einstellten. Ganz unverhältnismässig trat hier das Uebergewicht der günstigen Stromesrichtung hervor.

Um eine Vergleichung mit den von v. Fleischl angestellten Versuchen zu ermöglichen, musste zur Vermeidung des Querschnittseinflusses der Plexus im physiologischen Zusammenhange mit dem Rückenmarke gelassen werden. Da aber eventuelle Reflexbewegungen nicht störend einwirken durften, wurde zur Vermeidung derselben der Frosch ätherisiert, dann hoch dekapitiert und unter möglichster Vermeidung einer Blutung der Plexus da, wo er der hinteren Bauchwand anliegt, frei gelegt. Bei Reizung konnte dann leicht die überlegene Wirksamkeit der schnell ansteigenden Ströme nachgewiesen werden. Deutlich zeigte sich auch der proximale Teil des freiliegenden Stückes absteigenden Strömen, der distale aufsteigenden gegenüber erregbarer, und etwa in der Mitte der Nervenstrecke liess sich der Aequator oder Folgepunkt finden, an dem auf- und absteigende Ströme gleiche Wirkung äusserten.

Um nun das einer jeden auf eine Summe von Erscheinungen gerichteten Beobachtung anhaftende subjektive Moment auszuschliessen, und um objektiv genauere Anhaltspunkte für den quantitativen und qualitativen Verlauf der Zuckungen zu erhalten, wurden dieselben im Grützner'schen Myographion bei einer durch passende Hebelwirkung ermöglichten konstanten Federspannung des Gastrocnemius von 15 g erregt und auf eine mit berusstem Glanzpapiere überzogene rotierende Trommel aufgezeichnet. Die Präparation wurde in der Weise vorgenommen, dass der Nervus ischiadicus vom Austritte aus der Wirbelsäule an bis zu seiner Bifurkation über dem Kniegelenk mit möglichster Vermeidung einer Zerrung freigelegt, proximal unterbunden und durchschnitten wurde. Darauf wurde der Gastrocnemius isoliert und ausser dem Nerven und Muskel nur soviel von Femur und Tibia im Zusammenhange mit dem Präparate gelassen, als zur Suspension im Myographion notwendig war. Der Reizmodus entsprach dem früher mitgeteilten.

Gleich die erste der durch Applikation der langsam ansteigenden Ströme erhaltenen Aufzeichnungen bestätigte eine von v. Fleischl mitgeteilte Beobachtung, nämlich die, dass der zweite Reiz den Muskel von dem Kontraktionszustande, in dem er ihn trifft, in denjenigen bringt, in welchen er ihn auch gebracht hätte, wenn er ihn in erschlafftem Zustande gefunden hätte (Fig. 11). Trat nun auch in der Folge diese Erscheinung, deren Vorkommen von v. Kries

energisch bestritten wird, nicht immer in dieser bestimmten Form auf, so konnte sie doch des öfteren beobachtet, $\frac{3}{4}$ und $\frac{2}{3}$ damit die Annahme v. Fleischl's für bestimmte, allerdings nicht näher charakterisierte Fälle bestätigt werden.

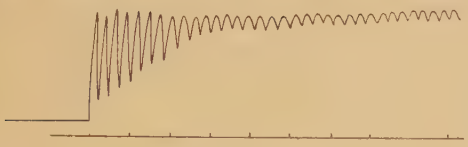

Fig. 11.

Typische Summationen gaben die scharfen Zähne (Fig. 12). Durch Sekundennotierung liess sich konstatieren, dass in 1 Sekunde bei $\frac{1}{2}$ Umdrehung des Triebrades, der 4 . 5 Umdrehungen der Scheibe entsprachen und bei Rotation eines auf der Scheibe aufgesetzten Zahnes, sei es nun, dass er ein stumpfer oder ein scharfer war, Wechselströme und gleichgerichtete Ströme gleich viel Zuckungen, also hier 4 . 5 auslösten, die der günstigeren Stromrichtung entsprachen. Es zeigte sich aber in sofern eine Verschiedenheit, als die absolute Höhe der Zuckungen bei gleichgerichteten Strömen hinter den durch Wechselströme erzeugten zurückblieb. Man könnte annehmen, wie dies ja auch geschieht, auf Grund elektrotonischer Momente, dass der dem wirksamen Strome entgegengesetzte Strom die gereizte Nervenstrecke günstig beeinflusste. Die langsam verlaufenden Stromschwankungen erzeugten Zuckungen, die an Höhe bedeutend den durch die schnell verlaufenden Stromschwankungen erzeugten nachstanden.

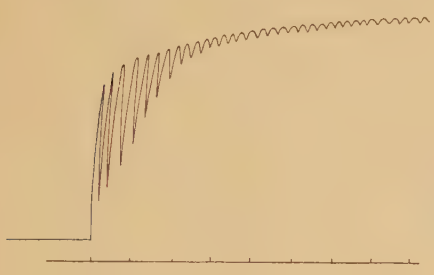

Fig. 12.

Brachte man auf diametral entgegengesetzten Teilen der Scheibe einen scharfen und einen stumpfen Zahn an, dann resultierte bei der Rotation eine Wechselwirkung in der Kontraktion, deren Aufzeichnung die Unterlegenheit des durch den stumpfen Zahn inducierten Stromes in äusserst prägnanter Weise hervortreten liess. Versuche an einem nach dem v. Fleischl'schen Prinzipe hergerichteten Präparate, das auf einer horizontal gestellten Korkplatte befestigt, und dessen Gastrocnemius durch einen rechtwinkelig über eine Rolle verlaufenden Faden mit dem Angriffspunkte am Schreibhebel verbunden war, ergaben ausser der noch mehr als beim

vorher beschriebenen Präparate berechtigten Negierung des Helmholtz'schen Summationsgesetzes bei langsamer verlaufenden Stromschwankungen nichts Neues.

Auf ein Phänomen, das noch wenig Beachtung gefunden zu haben scheint, sei auch noch hingewiesen. Bei einfacher Betrachtung des Gastrocnemius erkennt man leicht, dass der Muskel an seinem oberen Ende in der Nähe seines Ursprunges wie von einer Kuppe (Fig. 13), K_1 überwölbt erscheint, die sich bei passender Beleuchtung deutlich durch eine hellere Färbung von dem übrigen Teile des Muskels abhebt. Die Kuppe entspricht etwa dem dritten Teile der Muskellänge. Kontrahiert sich nun der Muskel, dann wird die Verkürzung in der Hauptsache durch die Kontraktion der Kuppe bewirkt. Es lässt sich dies auf einfache Weise zeigen. Legt man dem ruhenden Muskel einen schmalen mit Wasser befeuchteten Streifen Papier satt an und fixiert eventuell noch das obere Ende desselben, dann hebt sich bei der Kontraktion der Streifen an dem der Kuppe entsprechenden Teile des Muskels ab, während er dem unteren Teile weiter satt anliegt. Noch prägnanter kann man diese Erscheinung der partiellen Kontraktion demonstrieren, wenn man auf den ruhenden Muskel zur Längsaxse senkrechte unter einander parallele gleich weit von einander entfernte Striche aufzeichnet. Bei der Kontraktion des Muskels rücken die der Kuppe aufgezeichneten Striche sehr nahe aneinander K_2, während die übrigen Striche den gleichen Abstand von einander beibehalten. Dass von einer physiologischen Einheit des Gastrocnemius als Muskel keine Rede sein kann, dürfte dieser Versuch zur Genüge beweisen. Wenn bei der äusserlichen Betrachtung sich in der Anordnung der Muskelelemente so in die Augen fallende Unterschiede ergeben, darf man umsomehr zu der Annahme berechtigt sein, dass die Unterschiede auch in dem feineren Aufbau und in den in ihm als Substrate sich abspielenden physiologischen Vorgängen einen entsprechenden Ausdruck finden müssen.

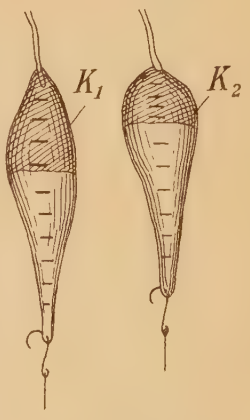

Fig. 13.

Versuche, die bei centraler Reizung des Nervus ischiadicus angestellt wurden, sprachen auch für eine überlegene Wirksamkeit der rasch ansteigenden Ströme.

Versuche am Nervus brachialis des Frosches.

Um vergleichender Weise die Wirkung der Ströme auch an einem andern motorischen Nerven desselben Tieres beobachten zu können, wurde der Nervus brachialis des Frosches in den Bereich der Untersuchung gezogen. Dieselbe beruhte, da stets der Grad der Erregbarkeit Berücksichtigung fand, auf der Notierung der ersten deutlichen Zuckungen, die nach entsprechenden Widerstandsänderungen im Nebenstromkreise erhalten wurden.

Versuch am 31. III. 97.

Stumpfe Zähne.

a. Wechselströme.
   Effekt: Zuckungen in der ganzen vorderen Extremität, beginnend bei 60 *SE*, deutlich bei 70 *SE*.
   NS: 70 *SE*.

b. Gleichgerichtete Ströme.
   Absteigender Strom:
   Effekt: Beginn der ersten minimalen Zuckungen bei 120 *SE*, deutlich bei 160 *SE*.
   NS: 160 *SE*.

Scharfe Zähne.

a. Wechselströme.
   Effekt: Beginnende Zuckungen bei 10 *SE*, von der gewünschten Deutlichkeit bei 13 *SE*.
   NS: 13 *SE*.

b. Gleichgerichtete Ströme.
   Absteigender Strom:
   Effekt: Die ersten unmerklichen Zuckungen treten auf bei 25 *SE*, deutlich bei 28 *SE*.
   NS: 28 *SE*.

Aus den angeführten Versuchen geht hervor, dass auch am Brachialis die schneller ansteigenden Ströme in Bezug auf ihre Wirkungsweise sich den langsamer ansteigenden bedeutend überlegen erweisen. Die Erregbarkeitsverhältnisse dürften mit denen am Ischiadicus ziemlich übereinstimmen. Von einer graphischen Darstellung des Zuckungsverlaufes wurde der mangelhaft entwickelten Muskulatur wegen Abstand genommen.

Versuche am Nervus vagus des Frosches.

Da der Nervus vagus auf der linken Seite stärker entwickelt zu sein pflegt, so wurde er gewöhnlich auf dieser da, wo er dem Musculus petrohyoideus IV sich innig anschmiegend zur ventralen Seite umbiegt, freigelegt, unterbunden und durchschnitten. Durch Eröffnung der vorderen Thoraxwand konnte das Herz der Beobachtung zugänglich gemacht werden.

Der kleinen Strecke des für die Reizung zu Gebote stehenden Nervenstückes wegen war die Anlegung unpolarisierbarer Elektroden erschwert; daher wurden die Platiniridiumelektroden als Stromsender gewählt und nur mit Wechselströmen gereizt. Die durch die Reizung bedingte Aenderung in der Herzaktion konnte nach der von Engelmann angegebenen Suspensionsmethode in der Weise anschaulich gemacht werden, dass die Herzspitze mit einem Häckchen angespiest, und dieses durch einen Faden mit einem Schreibhebel, der ein Gegenwicht trug, in Verbindung gebracht wurde.

Versuch am 3. IV. 97.

Das Herz kontrahiert sich regelmässig 32mal in der Minute. Bei Anwendung von 4 scharfen Zähnen und bei $4\frac{1}{2}$ Umdrehungen pro Sekunde der die Zähne tragenden Scheibe treten die ersten Beeinflussungen der Herzaktion ein bei einem Widerstande von 400 *SE* im Nebenstromkreise.

NS : 400 *SE* — 25 Schläge pro Minute.
NS : 450 *SE* — 24 Schläge pro Minute.
NS : 600 *SE* — 23 Schläge pro Minute.
NS : 800 *SE* — 22 Schläge pro Minute.
NS : 900 *SE* — 18 Schläge pro Minute.

Bei einem Widerstand von 1000 *SE* im regulierenden Stromkreise erfolgt nach 2 Schlägen Herzstillstand.

Eine Beeinflussung der Herzthätigkeit durch die stumpfen Zähne kann nicht erzielt werden, selbst wenn der von der Reizsirene entwickelte Strom ungeschwächt dem Nerven zugeschickt wird.

Vergleicht man die am Nervus ischiadicus und brachialis erhaltenen Resultate mit den am Vagus gewonnenen, so liegt auch bei letzterem für Ströme verschiedenen Anstieges die Präponderanz in der Wirkung auf der Seite der rasch ansteigenden. Eine absolute Unwirksamkeit der langsamer verlaufenden Stromschwankungen anzunehmen wäre gewiss verfehlt; es konnte eben mit der Reizsirene der für die langsamer

ansteigenden Ströme erforderliche Intensitätsgrad zur Erzeugung eines sichtbaren Effektes nicht erreicht werden.

Bemerkenswert ist die geringere Erregbarkeit am Vagus für die scharfen Zähne gegenüber der Erregbarkeit am Nervus ischiadicus und brachialis. Es stehen sich hier gegenüber 10 *SE* und 400 *SE*. Die bestehenden Unterschiede, die nicht etwa auf die Verschiedenheit der Elektroden zurückzuführen sind, könnten ihre Erklärung finden in dem viel kleineren Querschnitte des Nervus vagus und in der durch die Widerstandsvergrösserung bedingten Schwächung des reizenden Stromes. Eine solche Annahme wird aber einigermassen hinfällig durch die Beobachtung, dass bei Reizung eines dem Plexus ischiadicus angehörigen sehr feinen Nerven durch Induktionsströme Zuckungen absolut früher eintreten als bei Reizung der dickeren Nervenstämme. In wieweit hier die anatomischen Hüllen der eigentlichen nervösen Elemente beteiligt sind, wäre einer Untersuchung wert.

Versuche an Bufo vulgaris.

Während bei den bisher mitgeteilten Versuchen am Frosch die Herrschaft der rasch ansteigenden Ströme fest gegründet war, beginnt dieselbe im Krötenreich wankend und bei intensiverer Einwirkung der Reize sogar durch die Macht der langsamer verlaufenden Ströme völlig übertroffen zu werden. Zur Orientierung über die genaueren Details dieser eigenartigen Verhältnisse verweise ich auf die schon öfters zitierte Arbeit von Grützner und Schott. Meine Versuche wurden in analoger Weise wie beim Frosche vorgenommen.

Versuche am Nervus ischiadicus.

30. III. 97.

Stumpfe Zähne:

a. Wechselströme.
   Effekt: Bei 30 *SE* beginnende Zuckungen im ganzen Beine, deutlich bei 35 *SE*.
   NS: 35 *SE*.

b. Gleichgerichtete Ströme.
   Absteigender Strom:
   Effekt: Zuckungen im ganzen Beine, deutlich bei 105 *SE*.
   NS: 105 *SE*.

Scharfe Zähne:

a. Wechselströme.
Effekt: Zuckungen im ganzen Beine, beginnend bei 15 *SE*, von der gewünschten Stärke bei 17 *SE*. *NS*: 17 *SE*.

b. Gleichgerichtete Ströme.
Absteigender Strom:
Effekt: Derselbe, Beginn bei 20 *SE*, deutlich bei 22 *SE*. *NS*: 22 *SE*.

Während beim Frosche die von den scharfen Zähnen erzeugten Ströme bei 10 *SE* deutliche Wirkung äusserten, trat dieselbe bei der Kröte erst bei 17 *SE* ein. Umgekehrt lagen die Verhältnisse bei den langsamer ansteigenden Strömen, die beim Frosche erst bei 60 *SE* wirksam wurden, bei der Kröte aber schon bei 35 *SE*. Demnach betrug die Differenz beim Frosche 50 *SE*, bei der Kröte nur 18 *SE*. Es nähern sich also, um mit v. Kries zu reden, die Reizungsdivisoren bei der Kröte schon bedenklich dem Werte 1. Je grösser nun der Reiz gesetzt wurde, um so mehr nahm die Wirksamkeit der rasch ansteigenden Ströme ab, die ihre Herrschaft schliesslich vollständig an die langsamer ansteigenden abtreten mussten.

Zeichnete man Tetanuskurven (Fig. 14), die sich selbst bei starker Belastung durch ihre relativ enorme Höhe auszeichneten, dann erhob sich die Kurve bei langsam verlaufenden

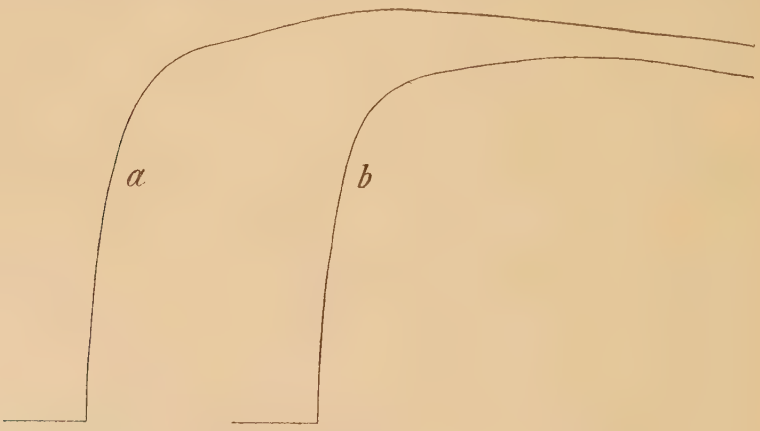

Fig. 14.
NS: 200 *SE*, $4^1/_2$ Umdrehungen pro Sekunde.
a. Stumpfe Zähne. b. Scharfe Zähne.

Stromschwankungen bei völlig gleichem Widerstande von 200 *SE* im Regulierungsstromkreise noch um ein Stück höher als bei Applikation der aus der Rotation der scharfen Zähne resultierenden Momentanreize.

Ferner wurde der Höhepunkt der Kurve bei schnell ansteigenden Strömen in kürzerer Zeit erreicht als bei langsam ansteigenden, eine Thatsache, der v. Fleischl bei seinen Versuchen am Frosch beredten Ausdruck verleiht, und die beim Krötenmuskel, der sich seiner doch wohl specifisch verschiedenen Elemente wegen langsamer ansteigenden Strömen geneigter erweist, um so mehr hervortreten muss.

Ganz besonders charakterisiert und für die Erklärung der verschiedenen Wirksamkeit der Ströme vielleicht von besonderer Bedeutung, ist der Krötengastrocneumius durch die schon beim Froschgastrocneumius erwähnte Kuppe, die sich hier bis zur Hälfte des Muskels hinaberstreckt, während sie beim Frosche nur etwa den dritten Teil des Muskels überwölbt. Brachte man auch hier in gleichen Entfernungen zur Längsaxe des Muskels senkrechte, unter einander parallele Striche an und liess nun den Muskel eine Kontraktion ausführen, so konnte man deutlich konstatieren, dass die Verkürzung des Muskels in der Hauptsache von der Kuppe besorgt wurde.

Auch die Versuche am Nervus brachialis der Kröte haben ergeben, dass die als Effekt der Reizung beobachteten ersten Zuckungen bei Anwendung der stumpfen Zähne früher eintraten als dies beim Frosche der Fall war. Während bei demselben 13 *SE* für die scharfen und 70 *SE* für die stumpfen Zähne in den Nebenstromkreis eingeschaltet werden mussten, standen sich hier entsprechend gegenüber die Zahlen 15 *SE* und 30 *SE*.

Versuch am Nervus brachialis der Kröte.

31. III. 97.

Stumpfe Zähne:

a. Wechselströme.
   Effekt: Zuckungen minimal beginnend bei 25 *SE*, deutlich bei 30 *SE*.
   NS: 30 *SE*.

b. Gleichgerichtete Ströme.
   Absteigender Strom:
   Effekt: Zuckungen beginnen bei 40 *SE*, entsprechend stark bei 50 *SE*.
   NS: 50 *SE*.

Scharfe Zähne:

a. Wechselströme.
Effekt: Zuckungen, beginnend bei 12 *SE*, deutlich bei 15 *SE*.
NS: 15 *SE*.

b. Gleichgerichtete Ströme.
Absteigender Strom:
Effekt: Beginnende Zuckungen schon bei 14 *SE*, von der gewünschten Stärke bei 20 *SE*.
NS: 20 *SE*.

Daraus resultiert, dass auch die Muskeln, welche der Nervus brachialis der Kröte innerviert, bei langsam verlaufenden Stromschwankungen relativ früher in Aktion treten.

Versuche am Nervus vagus der Kröte.

Merkwürdig ist nun das Verhalten des Nervus vagus der Kröte in Bezug auf seine Reizbarkeit zu den Extremitätennerven desselben Tieres. Man sollte meinen, dass, da der physiologische Effekt bei Reizung des Nervus ischiadicus und brachialis mit langsamer verlaufenden Stromschwankungen ein grösserer ist, dieses Verhalten auch für andere Nerven desselben Tieres zutreffen müsste, ähnlich wie die Extremitätennerven und der Nervus vagus beim Frosche beiderseits auf Momentanreize besser reagieren. Dies ist jedoch nicht der Fall, wie der nachfolgende Versuch beweist, indem Momentanreize sich wirksamer erweisen.

Versuch am 31. III. 97.

Grosse weibliche Kröte. Vagus und Herz in derselben Weise freigelegt wie beim Frosche.

Das Herz führt während 1 Minute 30 Kontraktionen aus.

Scharfe Zähne, Wechselströme:
NS: 500 *SE* — 30 Schläge pro Minute.
NS: 600 *SE* — 17 Schläge pro Minute.
NS: 700 *SE* Herzstillstand nach 3 Schlägen.

Die stumpfen Zähne können weder eine Aenderung im Rhythmus der Herzkontraktionen noch viel weniger Herzstillstand veranlassen.

Das relativ frühere Eintreten des Herzstillstandes könnte der Querschnittsgrösse, die im gegebenen Falle die des Frosches übertraf, zugeschoben werden. Damit wäre aber bei Annahme eines geringeren Widerstandes für den Strom und als Folge

davon die Möglichkeit eines grösseren Reizeffektes das Phänomen an den Extremitätennerven der Kröte nicht erklärt, nämlich dass bei Anwendung der scharfen Zähne trotz des konstatierten grösseren Querschnittes der Krötennerven die Zuckungen später auftraten als beim Frosche. Darnach dürfte man zur Annahme eines spezifisch verschiedenen Substrates berechtigt sein, denn nur bei dieser Voraussetzung finden die beobachteten Erscheinungen eine vorerst genügende Erklärung.

Versuche an einer weissen Ratte.

Nach diesen an Kaltblütern angestellten Versuchen erschien die Ausdehnung derselben auch auf Warmblüter im Interesse weiterer Vergleichung angezeigt. Für ein und denselben Nerven hat v. Kries angegeben, dass der Nerv abgekühlt gegen die lange, erwärmt gegen die kurze Anstiegsdauer besser reagiert. Wollte man annehmen, dass die Elemente des peripheren Nervensystems für Warm- und Kaltblüter gleiche wären, dann müsste die Reizschwelle am Nerven des Warmblüters mit Berücksichtigung der v. Kries'schen Beobachtungen ceteris paribus bei Anwendung der scharfen Zähne tiefer liegen d. h. schon bei geringerer Stromintensität zu überschreiten sein als beim Warmblüter.

Eine dahingehende Untersuchung wurde an einer grösseren weissen Ratte vorgenommen, deren Ischiadicus im Verlaufe des Oberschenkels an dem narkotisierten Tiere freigelegt, unterbunden und durchschnitten wurde. Gereizt wurde nur mit Wechselströmen.

Versuch am 3. IV. 97.

Stumpfe Zähne:

Effekt: Zuckungen im Unterschenkel und Fuss.
NS : 65 *SE.*

Scharfe Zähne:

Effekt: deutliche Zuckungen im Unterschenkel und Fuss, die schon früher minimal beginnen.
NS : 6 *SE.*

Aus diesem Versuche könnte nun allerdings eine grössere Neigung des warmen Nerven für rasch verlaufende Stromschwankungen gegenüber den Nerven der Kaltblüter abstrahiert werden, indem schon bei 6 *SE* und früher Zuckungen auftraten, allein die Zahl der Beobachtungen war eine viel zu geringe, um diese Annahme mit aller Bestimmtheit bestätigen zu können.

Am Vagus desselben Tieres, der am Halse präpariert und an seinem peripheren Ende gereizt wurde, konnte durch die schnell ansteigenden Ströme schon bei 300 *SE* Herzstillstand erzielt werden, während die langsamer verlaufenden Ströme keinerlei Einfluss auf die Herzthätigkeit erkennen liessen. Damit wäre annäherungsweise eine Analogie im Verhalten dieser Nerven mit dem beim Frosch und der Kröte konstatiert, freilich auch eine grössere Erregbarkeit wenigstens für die schnell verlaufenden Stromschwankungen auf Seiten des Warmblüters.

Bezüglich einer Ursache des verschiedenen Verhaltens des Nerven bei verschiedener Temperatur wird auf Grund eingehender Experimente in einer neueren Abhandlung von F. Gotsch und J. S. Macdonald [1]) darauf hingewiesen, »that the greater effectiveness of the induced current in the warmed nerve was really due to physiological and not to physical alterations.«

Versuche am Kaninchen.

Herr Professor Grützner hatte mich darauf aufmerksam gemacht, dass die Ströme der Stöhrer'schen Maschine bei Applikation auf den Sympathicus als Sekretions- und Gefässnerven sich bei früher angestellten Versuchen wirksamer erwiesen hatten, als die gewöhnlichen Induktionsströme. Da als Grund für diese verschiedene Wirkungsweise der langsamere Anstieg der von der Stöhrer'schen Maschine gelieferten Ströme geltend gemacht werden konnte, so wurden vergleichende Versuche auch mit der Reizsirene angestellt.

Es sei mir vorher gestattet, einen Versuch anzuführen, den ich unter Anleitung von Herrn Professor Grützner am Kaninchen vornahm, und für den ein Schlitteninduktorium und eine Stöhrer'sche Maschine die nötigen Ströme lieferten.

Versuch am 27. X. 96.

Bei einem mittelgrossen braunen Kaninchen wurde in Narkose der Sympathicus am Halse freigelegt, unterbunden und durchschnitten, darauf die beiden Submaxillardrüsen, die nahe bei einander liegen und daher eine Vergleichung ihrer durch die Blutfüllung bedingten Farbe gestatteten, präpariert, der Kopfteil des Sympathicus gereizt und die

1) Temperature and Excitability. By F. Gotsch and J. S. Macdonald. Journal of Physiology vol. XX No. 4, 1896.

Wirkung der Reizung auf die Gefässe der Drüse und auch auf die Pupille beobachtet.

In den primären Stromkreis des Schlitteninduktoriums mit Eisenkern war ein Leclanché-Element und ein Quecksilberschlüssel eingeschaltet. Die durch Schliessung und Oeffnung des Stromes in der sekundären Spule erzeugten Induktionsströme konnten durch Verschiebung der Spule entsprechend modifiziert werden und zwar in annähernd proportionaler Weise, nachdem vorher der Apparat nach der von Fick [1]) empfohlenen Methode graduiert und diese Graduierung in der von v. Fleischl angegebenen Weise mittelst des physiologischen Rheoskopes kontroliert worden war (cf. pag. 30, Anm. 1). Für die Stöhrer'sche Maschine kamen auf jede Sekunde 7 Umdrehungen, von denen jede 4 Ströme lieferte, wobei die Pole des starken Hufeisenmagnetes den Eisenkernen der Spulen möglichst genähert waren. In den Stromkreis wurde ein Siemensrheostat als Nebenschluss eingeschaltet, der entsprechend den Widerstandsveränderungen eine annähernd proportionale Variation der Stromstärke im Reizstromkreise gestattete.

Um einen Maassstab für die Beurteilung des Reizeffektes zu haben, wurde als tertium comparationis das physiologische Rheoskop gewählt.

Versuch mit dem Induktionsapparat.

Rollenabstand.	Wirkung auf: Froschpräparat.	Drüse und Pupille.
11 cm	Tetanus	Deutliche Erblassung der Drüse und Vergrösserung der Pupille nach 5 Sekund.
12 cm	Tetanus	Wirkung auf Drüse und Pupille dieselbe.
13 cm	Tetanus	Deutliche Erblassung und Vergrösserung.
14 cm	Tetanus	Wirkung auf Drüse und Pupille schwächer.
15 cm	Tetanus	Keine Wirkung.
16 cm	Tetanus	Keine Wirkung.

Tetanus erfolgt noch am Froschpräpat bei 40 cm Rollenabstand.

1) A. B. Meyer: Beiträge zur Lehre von der elektrischen Nervenreizung. Zürich 1867. Dissertation.

Versuch mit der Stöhrer'schen Maschine.

Wirkung auf:

Nebenschluss.	Froschpräparat.	Drüse und Pupille.
50 *SE*	—	Deutliche Erblassung und Vergrösserung.
25 *SE*	—	Dieselbe.
20 *SE*	—	Dieselbe.
15 *SE*	—	Dieselbe.
10 *SE*	Einzelne Zuckungen.	Wirkung deutlich.
7 *SE*	Einzelne Zuckungen.	Drüse deutlich. Pupille schwächer.
5 *SE*	Einz. schwächere Zuckungen.	Wirkung auf Drüse und Pupille.
4 *SE*	Kaum vorhanden.	Wirkung auf Drüse und Pupille vorhanden.
3 *SE*	Keine Zuckungen	Drüse nach 10 Sekunden blass, Pupille wenig erweitert.

Daraus resultiert, dass bei einem Rollenabstande von 15 cm der Induktionsstrom, der auf das Froschpräparat tetanisierend wirkte, in seiner Wirkung auf Drüse und Pupille versagte, während der Strom der Stöhrer'schen Maschine, der bei einem Widerstande von 3 *SE* im Nebenschlusse keine Zuckungen im Froschpräparate hervorzurufen im Stande war, noch eine Wirkung auf Drüse und Pupille äusserte. Für die Zunge waren Ströme, die auf das Froschpräparat, die Drüse und Pupille noch deutliche Wirkung dokumentierten, nicht mehr fühlbar.

Der Unterschied in der Wirksamkeit trat noch mehr hervor bei einem Versuche am 30. X. 96. Bei 2 . 5 *SE* Widerstand im Nebenschluss konnten am Froschpräparate keine Zuckungen mehr wahrgenommen werden, trotzdem liess sich eine deutliche Einwirkung auf Drüse und Pupille selbst noch bei einem Widerstand von 1 *SE* im Nebenschluss konstatieren.

Versuche, die in ähnlicher Weise an einer jungen Katze vorgenommen wurden, führten zu analogen Resultaten.

Da bei Beurteilung der Drüsenfarbe mehr oder weniger

subjektive Momente sich in die Beobachtung mit einschleichen können, wurde bei Versuchen mit den Strömen der Reizsirene die Menge des abgesonderten Sekretes der Parotis als Maass der Reizwirkung vom Sympathicus aus gewählt, zugleich auch die Wirkung auf die Pupille beobachtet.

Zur Einführung der Kanüle wurde der Ductus paroticus eines narkotisierten Kaninchens da, wo er auf dem Musculus masseter zwischen den Aesten des Nervus facialis unterhalb des Auges verläuft, freigelegt, angeschnitten und eine Kapillarkanüle eingelegt, die bei einer Länge von 15.8 cm 0.123 ccm Wasser, also 0.0078 ccm pro Centimeter Skalenteil fassen konnte. Präpariert wurde der Sympathicus in der bekannten Weise am Halse. Eine Prüfung mittelst der Ströme eines Schlitteninduktionsapparates ergab bei einem Rollenabstande von 25 cm keinerlei Wirkung auf die Drüse, während das gewöhnliche Nerv-Muskelpräparat schon ungefähr bei 40 cm Rollenabstand stark tetanisch erregt wurde. Die Wirkung auf die Drüse begann bei einem Rollenabstand von 20—21 cm durch Ströme, die auf der Zunge kaum fühlbar waren.

Bei den Versuchen stellte sich nun heraus, dass die scharfen Zähne bei weitem wirksamer waren als die stumpfen. Während bei den ersteren das Sekret in der Kanüle bei der Reizung schon bei einem Widerstand von ungefähr 100 *SE* im Nebenschluss vorrückte, konnte eine deutliche Sekretion bei Rotation der stumpfen Zähne erst bei Entfaltung eines Widerstandes von ungefähr 800 *SE* erreicht werden. Doch schien der Nachschub des Sekretes nach der Reizung mit den langsam verlaufenden Strömen ein bedeutenderer zu sein, die Nachwirkung also mehr hervorzutreten als nach Momentanreizen. Es würde also die auf längere Zeit ausgedehnte Sekretion bei Zeitreizen ein Analogon darstellen zu der besonders von v. Fleischl beobachteten längeren Dauer der Muskelkontraktion bei Applikation dieser Reize, während einer kürzeren Reizdauer in äquivalenter Form eine kürzere Reizwirkung, also hier eine geringere Menge Sekret entspricht. Die grösste Menge des Sekretes, die bei einer durchschnittlichen Reizdauer von 15 Sekunden erhalten wurde, betrug 0.003 ccm.

Die Erweiterung der Pupille als Ausdruck der Reizung des Sympathicus verlief annähernd parallel mit der Wirkung auf die Drüse. Beobachtete Unterschiede, als ob der Dilatator pupillae für die schnell verlaufenden Induktionsströme erregbarer sei als die Drüse, umgekehrt die Drüse erregbarer

bei Rotation der stumpfen Zähne, dokumentierten sich nicht immer in prägnanter Weise. Ob diese Unterschiede auf spezifisch verschiedene Erregbarkeit zurückzuführen wären, müsste Gegenstand einer genaueren Untersuchung sein.

Ein Versuch, der gleichfalls am Kaninchen vorgenommen wurde, möge auch noch Erwähnung finden. Scharf hebt sich durch seine dunkelrote Farbe der Musculus soleus von den übrigen Muskeln des Unterschenkels ab. Bei der schon durch die Farbe ausgedrückten Verschiedenheit des anatomischen Substrates ist auch eine funktionell verschiedene Reaktion auf elektrische Reize zu vermuten. Diese fand auch für die Ströme der Reizsirene ihren Ausdruck in dem Verhalten, dass bei Reizung vom Nervus ischiadicus aus Momentanreize, die durch die Rotation der scharfen Zähne bewirkt wurden, an dem vom Gastrocnemius isolierten Musculus soleus tonischen, am Gastrocnemius aber selbst klonischen Tetanus erzeugten. Die Zeireize erwiesen sich absolut unwirksamer am Soleus als rotem Muskel.

Schweisssekretionsversuch an der Katze am 25. V. 97.

Der letzte Versuch, der der Vergleichung wegen mit den Strömen der Reizsirene angestellt wurde, bezog sich auf die Sekretion der Schweissdrüsen nach Reizung des Nervus ischiadicus einer jungen Katze. Herr Professor Grützner hatte eine unverhältnismässig starke Schweisssekretion beobachtet, bei Einwirkung der Ströme der Stöhrer'schen Maschine, hinter denen die Wirkung der gewöhnlichen Induktionsströme bei sonst gleichen Bedingungen zurückzubleiben schien.

Zur Untersuchung der Frage, ob etwa bei sonst gleichen Bedingungen Momentan- oder Zeitreize einen grösseren physiologischen Effekt hervorrufen, wurde bei einer jungen Katze der Nervus ischiadicus präpariert, durchschnitten und am peripheren Ende mit den Strömen der Reizsirene gereizt. Hatte der Reiz den nötigen Intensitätsgrad erreicht, dann konnte man an der Pfote deutliche Schweissperlen entstehen sehen, deren Auftreten für die Beurteilung des Effekts maassgebend war. Bei Benutzung des Induktionsapparates traten bei einem Rollenabstand von 9 cm Schweisstropfen auf der Pfote hervor, wobei die Muskeln tetanisch kontrahiert waren. Die Ströme der Stöhrer'schen Maschine, die auf der Zunge nicht fühlbar waren, wirkten stark secernierend schon bei einem Widerstand von 30 *SE* im Nebenschluss.

Die Ströme der Reizsirene äusserten nur bei vermehrter Rotation der Scheibe eine Wirkung auf die Schweissdrüsen, die für die scharfen Zähne früher und intensiver auftrat, als bei Rotation der stumpfen Zähne. Das Uebergewicht der rasch verlaufenden Stromschwankungen trat auch hier in bedeutsamer Weise hervor.

Schlussbetrachtung.

Die für elektro-physiologische Zwecke wünschenswerte Möglichkeit einer weitgehenden Variation der den elektrischen Strom bedingenden Faktoren wird durch den Gebrauch der Reizsirene als stromerzeugender Apparat in vieler Hinsicht gewährleistet. Dazu kommt, dass die Konstruktion von Eisenstücken zur Herstellung von Stromverläufen der verschiedensten Art keinerlei Schwierigkeiten bereitet, wodurch die Grenzen der Anwendungsfähigkeit des Apparates um ein bedeutendes Stück weiter gezogen werden können.

Die Resultate der mit den zwei Typen von Stromverläufen angestellten Untersuchungen drängen zur Annahme einer specifisch verschiedenen physiologischen Reaktion einzelner Nerven und ihrer Endapparate nach Einwirkung elektrischer Reize. Diese spezifisch verschiedene Reaktion dokumentierte sich sowohl bei Applikation derselben Art von elektrischen Reizen auf verschiedene Nerven als auch bei Applikation verschiedener elektrischer Reize auf ein und denselben Nerven.

Was nun den ersten Fall anbetrifft, so trat der physiologische Effekt bei Reizung der Extremitätennerven der untersuchten Tiere bei viel geringerer Stromintensität ein als bei Reizung des Nervus vagus, sympathicus und ischiadicus als Sekretionsnerven.

Im letzteren Falle äusserten Momentanreize, den Extremitätennerven des Frosches und der Warmblüter zugeführt, eine intensivere Wirkung als Zeitreize, während sich diese Verhältnisse bei der Kröte geradezu umkehrten.

Der Nervus vagus, sympathicus und ischiadicus erwies sich Momentanreizen gegenüber stets zugänglicher als Zeitreizen. Dabei schien bei Warmblütern im allgemeinen die Erregbarkeit eine grössere zu sein als bei Kaltblütern.

Der durch Zeitreize erzielte physiologische Effekt war durch mancherlei Momente gekennzeichnet, die darauf hinwiesen, dass die Art des Reizes von wesentlichem Einfluss auf die Wirkung ist.

Ob nun diese Verschiedenheiten auf einer jeweilig verschiedenen Anordnung des anatomischen Substrates und einer dadurch bedingten verschiedenen Reizbarkeit selbst beruhen, welche Annahme durch mancherlei Beobachtungen gestützt wurde, oder auf einer Modifikation des reizenden Momentes durch das Subtrat, müsste noch Gegenstand einer genaueren Untersuchung sein. Soviel ist sicher, dass diese Unterschiede bestehen, daher man den Schluss machen darf, dass für die verschiedenen irritablen Organe zur Erzeugung des grösstmöglichen physiologischen Effektes immer nur eine Art von elektrischen Reizen die aequivalenteste ist.

Ich habe noch die angenehme Pflicht zu erfüllen, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Prof. Grützner, für die Anregung und vielfache Beratung bei der Arbeit auch an dieser Stelle meinen herzlichsten Dank auszusprechen.